

526,031

10 / 526031

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

28 FEB 2005

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2004 年 4 月 1 日 (01.04.2004)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2004/027370 A1

(51) 国際特許分類: G01M 13/04, 19/00, 17/08, F16C 41/00, B61F 15/20, G01D 21/00, G01B 21/00

特願2003-010131 2003 年 1 月 17 日 (17.01.2003) JP  
特願2003-048309 2003 年 2 月 25 日 (25.02.2003) JP  
特願2003-182996 2003 年 6 月 26 日 (26.06.2003) JP  
特願2003-304700 2003 年 8 月 28 日 (28.08.2003) JP

(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/011114

(22) 国際出願日: 2003 年 8 月 29 日 (29.08.2003)

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本精工株式会社 (NSK LTD.) [JP/JP]; 〒141-8560 東京都品川区大崎一丁目 6 番 3 号 Tokyo (JP).

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

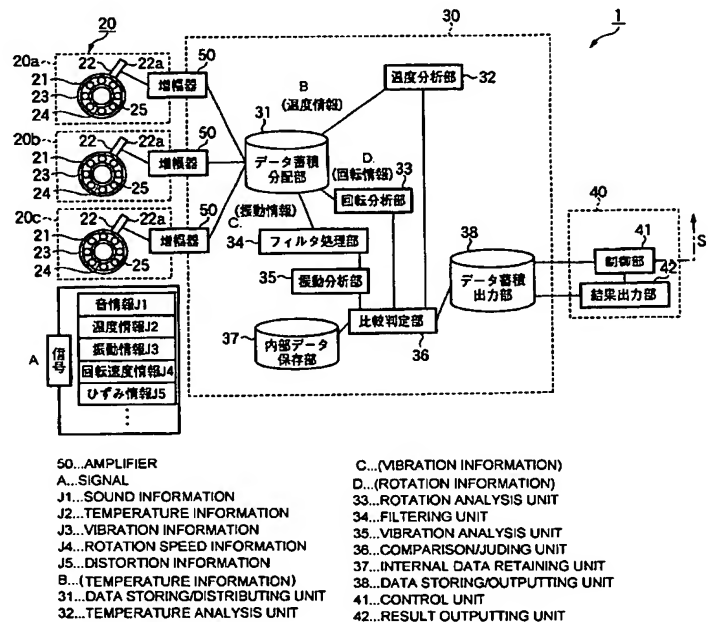
(72) 発明者; および  
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 宮坂 孝範 (MIYASAKA, Takanori) [JP/JP]; 〒251-8501 神奈川県藤沢市 鶴沼神明一丁目 5 番 50 号 日本精工株式会社内 Kanagawa (JP). 荒牧 宏敏 (ARAMAKI, Hiroto) [JP/JP]; 〒251-8501 神奈川県藤沢市 鶴沼神明一丁目 5 番 50 号 日本精工株式会社内 Kanagawa (JP). 武藤 泰之 (MUTO, Yasushi) [JP/JP]; 〒251-8501 神奈川県

(30) 優先権データ:  
特願2002-252877 2002 年 8 月 30 日 (30.08.2002) JP  
特願 2002-338423  
2002 年 11 月 21 日 (21.11.2002) JP  
特願 2002-370800  
2002 年 12 月 20 日 (20.12.2002) JP

[続葉有]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR MONITORING STATUS OF MECHANICAL EQUIPMENT AND ABNORMALITY DIAGNOSING DEVICE

(54) 発明の名称: 機械設備の状態監視方法及び装置ならびに異常診断装置



(57) Abstract: An abnormality diagnosing device for diagnosing the axle-use bearings of rolling stock for abnormality. The device comprises a detection processing unit for outputting signals generated from the bearings as electrical signals, a computing unit for diagnosing the bearings for abnormalities based on the outputs from the detection processing unit, an output unit for outputting judged results by the computing unit, and a control processing unit for feeding back control signals to the control system of the rolling stock based on the judged results.

[続葉有]

WO 2004/027370 A1



藤沢市 鶴沼神明一丁目 5 番 5 0 号 日本精工株式会社内 Kanagawa (JP). 佐原 淳太郎 (SAHARA, Juntaro) [JP/JP]; 〒251-8501 神奈川県 藤沢市 鶴沼神明一丁目 5 番 5 0 号 日本精工株式会社内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 小栗 昌平, 外(OGURI, Shohei et al.); 〒107-6028 東京都 港区 赤坂一丁目 1 2 番 3 2 号 アーク森ビル 2 8 階 栄光特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK,

SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約: 鉄道車両の車軸用軸受装置の異常の有無を診断する異常診断装置であって、前記軸受装置から発生する信号を電気信号として出力する検出処理部と、前記検出処理部の出力を基に前記軸受装置の異常診断を行う演算処理部と、前記演算処理部による判定結果を出力する結果出力部と、前記判定結果に基づき前記鉄道車両の制御系に制御信号をフィードバックする制御処理部と、を備える。

## 明 細 書

## 機械設備の状態監視方法及び装置ならびに異常診断装置

## &lt;技術分野&gt;

本発明は、機械設備の状態監視方法及び装置ならびに異常診断装置に関し、より詳しくは、転がり軸受、滑り軸受、ボールねじ、リニアガイド、リニアボールベアリング等のような、回転体と摺動部材の少なくとも一つを備えた、鉄道車両設備、工作機械、風車、減速機、電動機等の機械設備において、機械設備を分解することなく異常等の状態を監視する機械設備の状態監視方法及び装置ならびに異常診断装置に関する。

## &lt;背景技術&gt;

従来、鉄道車両設備、工作機械、風車等の機械設備では、回転体や摺動部材の磨耗や破損による不都合の発生を防止するために、定期的に分解目視検査を実施するようにしている。この分解目視検査は、装置の一定期間の使用後に、回転体や摺動部材を機械設備から取り外して分解し、熟練した専門の検査担当者が目視によって各構成部品の磨耗の度合いや傷の有無等を確認する。検査で発見される主な欠陥としては、軸受装置の場合、異物の噛み込み等によって生ずる圧痕、転がり疲れによる剥離、その他の磨耗等がある。また、歯車の場合は、歯部の欠損や磨耗等がある。検査担当者は、新品の回転体や摺動部材にはない凹凸や磨耗等の異常を検出すると、新品に交換した後、再度組み立てを実施する（日本精工株式会社発行カタログ「転がり軸受」（CAT. No. 1101e 第B340頁－第B351頁参照。）。）。

しかしながら、上記機械設備全体を分解して、担当者が目視で検査する方法では、機械設備から回転体や摺動部材を取り外す分解作業や、検査済みの回転体や摺動部材を再度機械設備に組み込み直す組み込み作業に多大な労力がかかり、機械設備の保守・管理等の維持コストに大幅な増大を招くという問題があった。

特に、風車の場合、オフショアで使用されることが多く、またその設置台数も

多い。この風車の保守管理にあたっては、保全担当者が風車の設置場所まで赴き、ここの風車の回転部品検査を行っているというのが現状である。そのため、保守管理に多大な時間とコストがかかり、メンテナンス効率が悪いという問題がある。また、分解検査後に機械設備を組立て直す際に検査前にはなかった打痕を回転体や摺動部材につけてしまう等、検査自体が回転体や摺動部材の欠陥を生む原因となる可能性があった。また、限られた時間内で多数の軸受を目視で検査するため、欠陥を見落とす可能性が残るという問題もあった。さらに、この欠陥の程度の判断も個人差があり実質的には欠陥がなくても部品交換が行われるため、無駄なコストがかかることにもなる。

また、このような目視検査による不都合を解消するために、軸受が使用されている車両の車体上に、軸受の回転時に発生する音や振動を検出するセンサを備えて、そのセンサの検出信号に基づいて、軸受の摩耗や破損等による異常の検出を行うことも検討されている。

しかし、車体にセンサを取り付ける構成の場合は、軸受とセンサとの間の距離が離れることによって、センサの検出信号のSN比が悪化し、高精度な検出・判定が難しいという問題もあった。

また、従来の軸受装置として、図50に示すセンサモジュールを有する軸受装置1100は、転がり軸受1101の外輪1102の外周面にモジュール穴1103が形成され、モジュール穴1103に速度センサ、温度センサ、加速度センサを内装したモジュール1104が挿入固定されている。そして、モジュール1104内の各センサが発生した検出信号は、通信チャネルを通じて、転がり軸受1101が設置される貨車や客車を牽引する機関車内の遠隔処理ユニットに送信される。

速度については、回転する車輪によって生じたパルスに基づくジャーナルの瞬時的な速度を検出することにより、その速度と、同様の条件で動作する他の軸受の速度との比較を行い、軸受組立体によって経験された全周期履歴の保存記録を行なう。温度については、単純なレベル検出により、同様の条件で動作する他の軸受の温度との比較を行なう。振動については、所定の時間間隔に亘るエネルギー



ーレベルの単純なRMS測定を行い、そのエネルギーレベルと、処理ユニットに記憶された過去のエネルギーレベルとを比較し、同様の条件で動作する他の軸受のエネルギーレベルとの比較を行なう（例えば、特表2001-500597号公報（第10-16頁、第1図）参照）。

また、軸受装置の他の構成例として、図51に示す転がり軸受ユニットの異常検出装置1110は、複列円すいころ軸受1111の外輪1112の下端部に、センサ取付孔1113が形成され、センサ取付孔1113に、回転速度センサ1114と、温度センサ1115と、加速度センサ1116と、を有するセンサユニット1117が挿入支持されている（例えば、特開2002-295464号公報（第4-5頁、第1図）参照）。

更に、軸受装置の他の構成例として、図52に示すセンサ付回転支持部材1120は、複列円すいころ軸受1121の外輪1122の下端部に、センサ取付孔1123が形成され、センサ取付孔1123に、回転速度センサ1124と、温度センサ1125と、を有するセンサユニット1126が挿入支持されている（例えば、特開2002-292928号公報（第4-5頁、第1図）参照）。

また、他の構成例として、図53に示す軸受の異常検知装置1130は、軸受1131の機械的振動を電氣的振動に変換して出力するピックアップ1132と、ピックアップ1132の出力を増幅する自動利得制御増幅器1133と、増幅器1133の出力から駆動系や他の機械系から生ずるノイズを除去する1~15kHzのバンドパスフィルタ1134と、を備えている。また、バンドパスフィルタ1134の出力の実効値を演算し自動利得制御増幅器1133の利得制御端子に供給する実効値演算器1135と、バンドパスフィルタ1134の出力を入力する包絡線回路1136と、包絡線回路1136の出力を入力する実効値演算器1137と、実効値演算器1137の出力を入力しその値が所定値を超えたときにランプや接点出力で警報を出す警報回路1138と、を備えた構成を有する（例えば、特開平2-205727号公報（第2-3頁、第1図）参照）。

また、他の構成例として、図54に示す転がり軸受の異常診断装置1140は、転がり軸受1141の近傍に配されるマイクロホン1142と、増幅器1143

と、電子機器 1 1 4 4 と、スピーカ 1 1 4 5 と、モニタ 1 1 4 6 と、を備えた構成を有する。電子機器 1 1 4 4 は、演算処理装置であり、変換部としてのトランスジューサ 1 1 4 7 と、記録部としての HDD 1 1 4 8 と、演算処理部としての異常診断部 1 1 4 9 と、アナログ変換出力部 1 1 5 0 を備える（例えば、特開 2 0 0 0 - 1 4 6 7 6 2 号公報（第 4 - 6 頁、第 1 図）参照）。

また、他の構成例として、図 5 5 に示す軸受の異常診断方法及び異常診断装置 1 1 6 0 は、センサ 1 1 6 1 が出力した電気的な信号波形が、アナログ・デジタル変換器 1 1 6 2 によってデジタルファイル化され、波形処理部 1 1 6 3 に送られ、波形処理部 1 1 6 3 で、エンベロープ処理が行われてエンベロープスペクトルが得られる。また、波形処理部 1 1 6 3 では、抽出工程において、軸受構成部品の特定の周波数成分である、内輪傷成分、外輪傷成分、転動体傷成分が、所定の式を用いてエンベロープスペクトルより抽出される。演算部 1 1 6 4 では、演算工程が行なわれ、判別部 1 1 6 5 では、比較工程が行なわれ、判定結果が出力回路 1 1 6 6 から出力され、スピーカ 1 1 6 7 やモニタ 1 1 6 8 により検査員に報知される（例えば、特開 2 0 0 1 - 0 2 1 4 5 3 号公報（第 5 - 6 頁、第 1 図）参照）。

しかしながら、特表 2 0 0 1 - 5 0 0 5 9 7、特開 2 0 0 2 - 2 9 5 4 6 4、特開 2 0 0 2 - 2 9 2 9 2 8 に記載された軸受装置の構成では、外輪にセンサ取付用の孔を設けているため、孔を設けていない外輪と、孔を設けている外輪とで、軸受を構成する外輪の種類が多くなる。それによって、組み込み間違い等を発生するおそれがあるとともに部品管理に多くの工数を必要とする。また、軸受内部の密封性に支障をきたすおそれもある。

また、特開平 2 - 2 0 5 7 2 7、特開 2 0 0 0 - 1 4 6 7 6 2、特開 2 0 0 1 - 0 2 1 4 5 3 に記載された異常診断装置では、振動ノイズの対策が開示されているに過ぎず、軸受が鉄道車両の車軸支持に用いられる場合、線路の継ぎ目を越える際に発生する大きな衝撃を異常信号として判断する可能性があり、異常判定に大きな影響を与える可能性がある。

また、分解検査や目視検査による不都合を解消するべく、軸受の回転時に発生

する音や振動を検出するセンサと、このセンサの検出信号を分析して異常の有無の判定を行う情報処理装置とを備え、前記情報処理装置としてパーソナルコンピュータを使用する監視システムが提案されている（例えば、特開 2002-71519 号公報参照）。

ところが、この従来の監視システムにおいて情報処理装置として使用するパーソナルコンピュータは、通常、汎用筐体内に、マザーボードや、前記センサの出力を受けるインターフェースを装着した構成であり、情報処理装置が比較的に大きな設置スペースを必要とすると共に、振動等に弱い傾向がある。

そのため、軸受装置等の振動が影響しないように、軸受装置等からある程度の距離を隔てた位置に、パーソナルコンピュータを設置するスペースを確保することになる。さらにこの監視システムは、サイズが大型化してしまうため、大きな設置スペース等の確保が難しい機械設備の場合には、実用性に乏しいという問題が生じた。

また、センサによる検出信号の S/N 比の低下を防止するために、センサはできるだけ軸受装置の構成部品自体に組み込むことが好ましい。しかし、外部の振動等に弱く且つ大型のパーソナルコンピュータは、振動発生源となる軸受装置等からできるだけ離さなければならない。その結果、センサとパーソナルコンピュータとが所定以上離れることになり、センサとパーソナルコンピュータとの間の情報伝送路に対する外部ノイズの影響による検出精度の低下等の問題が発生する虞もあった。

本発明は、上記問題を鑑みてなされたものであり、鉄道車両設備や工作機械や風車等の機械設備のように分解するのに手間が掛かるような装置を分解することなく通常の使用状態のまま異常の有無を判定することにより、保守・管理コストを低減させることができ、且つ、ノイズ等の影響を受けにくい高精度な機械設備の異常診断装置を提供することを目的とする。

#### <発明の開示>

本発明は、以下の構成によって達成される。

- (1) 鉄道車両の車軸用軸受装置の異常の有無を診断する異常診断装置であつ

て、

前記軸受装置から発生する信号を電気信号として出力する検出処理部と、  
前記検出処理部の出力を基に前記軸受装置の異常診断を行う演算処理部と、  
前記演算処理部による判定結果を出力する結果出力部と、  
前記判定結果に基づき前記鉄道車両の制御系に制御信号をフィードバックする  
制御処理部と、

を備えたことを特徴とする異常診断装置。

(2) 前記演算処理部は、前記検出処理部からの前記電気信号を蓄積し、前記  
信号の種類によって適切な分配ルートに分配するデータ蓄積分配部と、

前記データ蓄積分配部から分配された電気信号を基に、前記軸受装置に関する  
所定の物理量を算出する分析部と、

前記軸受装置に関する軸受装置データが保存された第1データ保存部と、

前記分析部の分析結果と、前記第1データ保存部に保存された前記軸受装置デ  
ータとを比較参照し、前記軸受装置の異常診断を行う比較判定部と、

前記分析部の分析結果および前記比較判定部による判定結果を保存する第2デ  
ータ保存部とを有することを特徴とする(1)に記載の異常診断装置。

(3) 前記分析部は、前記演算処理部から送られた電気信号のノイズ成分を除  
去又は特定の周波数成分を抽出し、出力するフィルタ処理部と、

前記フィルタ処理部から出力された信号の周波数分析を行う周波数分析部と、  
を有し、

前記比較判定部は、前記周波数分析部の周波数分析結果に基づき、前記軸受装  
置の異常診断を行うことを特徴とする(2)に記載の異常診断装置。

(4) 前記分析部は、前記データ蓄積部から出力された信号を基に前記軸受装  
置の温度を算出する温度分析部を有し、

前記比較判定部は、前記温度分析部が算出した前記温度に基づき、前記軸受装  
置の異常診断を行うことを特徴とする(2)又は(3)に記載の異常診断装置。

(5) 前記分析部は、前記データ蓄積部から出力された信号を基に前記軸受装  
置の回転速度を算出する回転分析部を有し、

前記比較判定部は、前記回転分析部が算出した前記回転速度に基づき、前記軸受装置の異常診断を行うことを特徴とする（２）～（４）のいずれかに記載の異常診断装置。

（６） 前記演算処理部は、前記異常診断結果に応じて前記第２データ保存部に蓄積されたデータを前記制御処理部に出力することを特徴とする（１）～（５）のいずれかに記載の異常診断装置。

（７） 前記フィルタ処理部は、１ｋＨｚ以下の周波数成分のみを抽出することを特徴とする（１）～（６）のいずれかに記載の異常診断装置。

（８） 前記検出処理部の検出素子は、前記軸受装置の静止部であって負荷圈に配置されることを特徴とする（１）～（７）のいずれかに記載の異常診断装置。

（９） 前記データ蓄積分配部は、所定レベル以上のノイズ成分を含む電気信号を前記分析部に出力しないことを特徴とする（１）～（８）のいずれかに記載の異常診断装置。

（１０） 前記比較判定部は、異常に起因する周波数とその高調波のレベルを基準値と比較することにより前記軸受装置の異常診断を行うことを特徴とする（１）～（９）のいずれかに記載の異常診断装置。

（１１） 前記比較判定部は、異常に該当する周波数及びその高調波のピーク値の少なくとも一つが所定の基準値よりも大きい場合に異常と判断することを特徴とする（１）～（１０）のいずれかに記載の異常診断装置。

（１２） 前記比較判定部は、異常を示す周波数及びその高調波のピーク値を基に、前記軸受装置の損傷の度合いを推定することを特徴とする（１）～（１１）のいずれかに記載の異常診断装置。

（１３） 前記比較判定部は、異常を示す周波数とその高調波のレベルを比較することにより異常診断を判定することを特徴とする（１）～（１２）のいずれかに記載の異常診断装置。

（１４） 前記比較判定部は、異常を示す周波数を含む周波数帯域の自乗平均またはパーシャルオーバーオールを基に異常診断を行うことを特徴とする（１）～（１３）のいずれかに記載の異常診断装置。

(15) 前記比較判定部は、周波数スペクトルをケプストラム分析することにより異常診断を行うことを特徴とする(1)～(14)のいずれかに記載の異常診断装置。

(16) 前記検出処理部と前記演算処理部間及び前記演算処理部及び前記制御処理部間は、それぞれ防水、防油、防塵、防錆及び防湿機能並びに耐熱、耐電及び耐電磁ノイズ性を有するケーブルを介して信号伝達を行うことを特徴とする(1)～(15)のいずれかに記載の異常診断装置。

(17) 前記検出処理部と前記演算処理部間及び前記演算処理部及び前記制御処理部間は、それぞれ無線通信機を備え、前記無線通信機を介して無線を介して信号伝達を行うことを特徴とする(1)～(15)のいずれかに記載の異常診断装置。

(18) 前記検出処理部と前記演算処理部間及び前記演算処理部及び前記制御処理部間は、それぞれ防水、防油、防塵、防錆及び防湿機能並びに耐熱及び耐電磁ノイズ性を有するケーブルを介して信号伝達を行う、または無線通信機を介して通信を行うことを特徴とする(1)～(15)のいずれかに記載の異常診断装置。

(19) リアルタイムに異常診断を行うことを特徴とする(1)～(18)のいずれかに記載の異常診断装置。

(20) 前記蓄積分配部に蓄積したデータを車両走行時とは別の時間に異常診断することを特徴とする(1)～(18)のいずれかに記載の異常診断装置。

(21) 前記軸受装置の軸受の異常の有無及び異常発生箇所を診断することを特徴とする(1)～(20)のいずれかに記載の異常診断装置。

(22) 車輪のフラット部を診断することを特徴とする(1)～(20)のいずれかに記載の異常診断装置。

(23) 前記軸受装置の歯車の異常の有無及び異常発生箇所を診断することを特徴とする(1)～(20)のいずれかに記載の異常診断装置。

(24) 回転体を有する機械設備の異常診断装置であって、

前記回転体の構成部品に組み付けられ、前記回転体の回転動作時の物理量を検

出するセンサを有するセンサユニットと、

前記センサユニットの出力信号を分析し、分析結果を所定の基準データと比較して前記回転体の異常の有無を判定する演算処理部と、

前記演算処理部の前記分析結果及び前記演算処理部の判定結果を表示し、前記判定結果に応じて前記機械設備の動作を制御する制御処理部と、を備えたことを特徴とする異常診断装置。

(25) 前記センサユニットは、前記センサの前記出力信号を増幅する出力増幅手段を備えたことを特徴とする(24)に記載の異常診断装置。

(26) 前記センサユニットは、前記出力信号を前記演算処理部に無線送信する無線通信手段を備えたことを特徴とする(24)又は(25)に記載の異常診断装置。

(27) 前記演算処理部及び制御処理部は、前記回転体から離れた監視用基地局に設けられたことを特徴とする(26)に記載の異常診断装置。

(28) 前記センサユニットは、鉄道車両の軸受に取り付けられ、

前記センサユニットは、前記軸受の異常を診断することを特徴とする(27)に記載の異常診断装置。

(29) 機械設備の摺動部材又は回転体の異常の有無を検出する機械設備の異常診断装置であって、

前記機械設備から発せられる信号を検出する1又は複数個の検出素子を有するセンサユニットと、

前記検出素子の出力を基に前記機械設備の異常の有無を判定する演算処理を行う演算処理部と、を備え、

前記演算処理部は、マイクロコンピュータから構成されることを特徴とする機械設備の異常診断装置。

(30) 前記センサユニットは、前記摺動部材又は回転体に組み込まれることを特徴とする(29)に記載の機械設備の異常診断装置。

(31) 前記マイクロコンピュータは、前記回転体又は摺動部材或いは前記回転体又は摺動部材を支持する機構部品に組み付けられたことを特徴とする(30)

に記載の機械設備の異常診断装置。

(32) 前記マイクロコンピュータと前記センサユニットとを単一のデバイス基板に搭載して、単一の処理ユニットとして、前記回転体又は摺動部材或いは前記摺動部材を支持する機構部品に組み付けたことを特徴とする(29)に記載の機械設備の異常診断装置。

(33) 前記演算処理部が、単一の筐体に收容されていることを特徴とする(29)～(32)のいずれかに記載の機械設備の異常診断装置。

(34) 前記センサユニットが、前記筐体に一体的に配されていることを特徴とする(33)に記載の機械設備の異常診断装置。

(35) 前記検出素子が、温度、振動変位、振動速度、振動加速度、力、歪、音響、アコースティックエミッション、超音波、回転速度、のうち少なくとも1つ以上の検出を可能とすることを特徴とする(29)～(34)のいずれかに記載の機械設備の異常診断装置。

(36) 前記演算処理部が、中央演算処理装置、増幅器、アナログ／デジタル変換器、濾波器、比較器、パルスカウンタ、タイマ、割り込みコントローラ、ROM、RAM、デジタル／アナログ変換器、通信モジュール、および外部インターフェース、を有することを特徴とする(29)～(35)のいずれかに記載の機械設備の異常診断装置。

(37) 前記演算処理部が、標準偏差および波高率の特徴パラメータ算出、包絡線検波、FFT、フィルタ、ウェーブレット変換、短時間FFT、回転体の欠陥に起因した特徴周波数算出のうち少なくとも1つ以上の処理と比較判定を実行可能なことを特徴とする(29)～(36)のいずれかに記載の機械設備の異常診断装置。

(38) 回転体と摺動部材の少なくとも一つを備えた、機械設備の状態監視方法であって、

前記機械設備から発生する信号を基に、該機械設備の所定の物理量を分析し、分析した結果と前記機械設備の異常の有無の診断基準となる情報とを第一の時間毎に比較照合して前記機械設備の異常の有無を仮診断し、



比較照合を所定の回数行った時、若しくは、第二の時間毎に、比較照合した結果に基づいて、異常と仮診断した回数が閾値以上である場合に異常と判定する総合評価を行い、前記機械設備の異常の有無及び異常部位を診断することを特徴とする機械設備の状態監視方法。

(39) 回転体と摺動部材の少なくとも一つを備えた、機械設備の状態監視方法であって、

前記機械設備から発生する信号を基に、該機械設備の所定の物理量を分析し、分析した結果と前記機械設備の異常の有無の診断基準となる情報とを第一の時間毎に比較照合して前記機械設備の異常の有無を仮診断し、

比較照合を所定の回数行った時、若しくは、第二の時間毎に、比較照合した結果に基づいて、異常と仮診断した回数により異常の程度を判別する総合評価を行い、異常の有無及び異常部位を診断することを特徴とする機械設備の状態監視方法。

(40) 前記信号はデジタル信号にA/D変換され、前記デジタル信号の周波数を分析する処理が行われ、前記機械設備の作動信号に基づき算出した前記機械設備の損傷に起因した周波数成分と実測データに基づく周波数成分とを前記第一の時間毎に比較照合することを特徴とする(38)又は(39)に記載の機械設備の状態監視方法。

(41) 前記信号は、増幅処理及びフィルタ処理が施されていることを特徴とする(40)に記載の機械設備の状態監視方法。

(42) 前記機械設備の前記回転体と摺動部材の少なくとも一つは、転がり軸受、ボールねじ、リニアガイド、リニアボールベアリングのいずれかであって、前記機械設備の作動信号は、前記転がり軸受及び前記ボールねじにおける回転速度信号であり、前記リニアガイド及び前記リニアボールベアリングにおける移動速度信号であることを特徴とする(40)又は(41)に記載の機械設備の状態監視方法。

(43) (38)又は(39)に記載の状態監視方法を用いた、回転体と摺動部材の少なくとも一つを備えた、機械設備の状態監視装置であって、

前記機械設備から発生する信号を検出する少なくとも一つの検出処理部と、  
前記検出処理部の出力した前記信号を基に、前記機械設備の状態を判定するための演算処理を実行するマイクロコンピュータを備えた演算処理部と、  
前記演算処理部の判定結果を出力する結果出力部と判定結果に基づいて機械設備の制御系にフィードバックする制御器の少なくとも一方を備えた制御処理部と、  
を備えることを特徴とする機械設備の状態監視装置。

(44) 前記検出処理部と前記マイクロコンピュータの少なくとも一方が前記回転体や前記摺動部材に組込まれていることを特徴とする(43)に記載の機械設備の状態監視装置。

(45) 前記回転体と前記摺動部材の少なくとも一つは、ラジアル荷重が負荷される軸受であって、

前記検出処理部は前記軸受の軌道輪と嵌合する軸受箱のラジアル荷重の負荷圏に固定されていることを特徴とする(43)又は(44)に記載の機械設備の状態監視装置。

(46) (43)～(45)のいずれかに記載の機械設備の状態監視装置を用いた鉄道車両用軸受装置の異常診断装置。

(47) (43)～(45)のいずれか一つに記載の機械設備の状態監視装置を用いた風車用軸受装置の異常診断装置。

(48) (43)～(45)のいずれか一つに記載の機械設備の状態監視装置を用いた工作機械主軸用軸受装置の異常診断装置。

(49) 機械装置のハウジングにねじ止めされたボルトに固定され、前記機械装置から発生する信号を電気信号として出力するセンサユニットを有する検出処理部と、

前記検出処理部の出力を基に前記機械装置の異常診断を行う演算処理部と、  
前記異常診断の結果に基づき前記機械装置の制御系に制御信号をフィードバックする制御処理部と、  
を備えたことを特徴とする機械装置の異常診断装置。

(50) 前記演算処理部は、前記検出処理部からの前記電気信号を蓄積し、前

記信号の種類によって適切な分配ルートに分配するデータ蓄積分配部と、

前記データ蓄積分配部から分配された電気信号を基に、前記機械装置に関する所定の物理量を算出する分析部と、

前記機械装置に関する機械装置データが保存された第1データ保存部と、

前記分析部が算出した前記物理量と、前記内部データ保存部に保存された前記機械装置データとを比較し、前記機械装置の異常診断を行う比較判定部と、

前記分析部の分析結果および前記比較判定部による前記異常診断の結果を保存する第2データ保存部とを有することを特徴とする(49)に記載の機械装置の異常診断装置。

(51) 前記演算処理部及び前記制御処理部は、マイクロコンピュータまたはICチップで構成されていることを特徴とする(49)又は(50)に記載の機械装置の異常診断装置。

(52) 前記検出処理部と前記演算処理部、または前記演算処理部と前記制御処理部間の信号伝達をワイヤレスで行うことを特徴とする(49)～(51)のいずれかに記載の機械装置の異常診断装置。

(53) 内輪軌道面を有する内輪と、外輪軌道面を有する外輪と、前記内外輪軌道面間に相対回転自在に配された複数の転動体と、前記転動体を転動自在に保持する保持器と、を有しラジアル荷重が負荷される軸受を軸受箱内に配した軸受装置であって、

前記軸受箱における負荷圏内に、単一のケース内に收容固定された振動センサ及び温度センサのうちから選択される少なくとも1個の異常を検出する異常検出手段を有することを特徴とする軸受装置。

(54) 前記軸受箱における負荷圏側外周面の一部に平坦部を設け、前記平坦部に前記異常検出手段が固定されていることを特徴とする(53)に記載の軸受装置。

(55) 前記軸受箱の負荷圏外径部であって、軸受幅中央部に前記異常検出手段が配されていることを特徴とする(54)に記載の軸受装置。

(56) 前記軸受箱の負荷圏外径部であって、前記内輪軌道面または前記外輪

軌道面の幅領域内に前記異常検出手段が配されていることを特徴とする（５３）に記載の軸受装置。

（５７） 前記異常検出手段のケースは、検出した信号を送出するための信号搬送手段を有し、前記信号搬送手段を介して送出された信号に基づき異常の有無を判定し出力する判定結果出力部を有することを特徴とする（５３）～（５６）のいずれかに記載の軸受装置。

（５８） 前記異常検出手段は、前記軸受箱に形成された凹部に埋設固定され、該異常検出手段と凹部との隙間をモールドして取付けられていることを特徴とする（５３）～（５７）のいずれかに記載の軸受装置。

（５９） 前記異常検出手段は、間座を介して前記凹部に固定されていることを特徴とする（５８）に記載の軸受装置。

（６０） 前記振動センサからの振動波形内の不要な周波数帯域を除去するフィルタ処理部と、前記フィルタ処理部から転送されたフィルタ後の波形の絶対値を検波するエンベロープ処理部と、前記エンベロープ処理部から転送された波形の周波数を分析する周波数分析部と、回転速度に基づき算出した損傷に起因した周波数と実測データに基づく周波数とを比較する比較照合部と、前記比較照合部での比較結果に基づき、異常の有無、異常部位の特定をする結果出力部を備えていることを特徴とする（５３）～（５９）のいずれかに記載の軸受装置。

#### <図面の簡単な説明>

図１は、本発明の第１実施形態に係る鉄道車両用の異常診断装置を示す図であり、

図２は、センサユニットの内部構造を示すブロック図であり、

図３は、データ蓄積分配部を示す図であり、

図４は、軸受の各部材の欠陥と各部材で発生する異常振動周波数の関係を示す関係式であり、

図５は、軸受における負荷圏と非負荷圏の関係を示す図であり、

図６は、第１実施形態の軸受から検出された振動信号の時間波形を示す図であり、

図 7 は、第 1 実施形態の軸受から検出された振動信号の周波数スペクトルを示す図であり、

図 8 は、第 1 実施形態の軸受から検出された振動信号のエンベロープ処理後の周波数スペクトルを示す図であり、

図 9 は、第 1 の方法における処理のフローを示すフローチャートであり、

図 10 は、異常が発生していない場合の周波数スペクトルを示すグラフであり、

図 11 は、外輪に異常が発生している場合の周波数スペクトルを示すグラフであり、

図 12 は、保持器に傷がある場合の周波数スペクトルと基準値の関係を示すグラフであり、

図 13 は、第 2 の方法における処理のフローを示すフローチャートであり、

図 14 は、第 2 の方法を説明する図であり、

図 15 は、第 3 の方法における処理のフローを示すフローチャートであり、

図 16 は、外輪に傷がある場合の周波数スペクトルを示す図であり、

図 17 は、第 4 の方法を説明する図であり、

図 18 は、剥離の大きさと、実測周波数スペクトルデータに現れるピークと基準レベルとの間のレベル差の関係を示したものであり、

図 19 は、第 5 の方法における処理のフローを示すフローチャートであり、

図 20 は、周波数スペクトルのレベルと基準線との関係を示す図であり、

図 21 は、第 6 の方法における処理のフローを示すフローチャートであり、

図 22 は、外輪に異常がある場合の周波数スペクトルを示すグラフであり、

図 23 は、外輪に異常が無い場合の周波数スペクトルを示すグラフであり、

図 24 は、外輪に異常がある場合の周波数スペクトルを示すグラフであり、

図 25 は、外輪に異常が無い場合の周波数スペクトルを示すグラフであり、

図 26 は、本発明の第 2 実施形態に係る鉄道車両の異常診断装置においてセンサユニットの内部構造を示すブロック図であり、

図 27 は、本発明の第 2 実施形態に係る鉄道車両用の異常診断装置を示す図であり、

図 28 は、本発明の第 3 実施形態に係る回転体の異常診断装置の概略構成を示すブロック図であり、

図 29 は、本発明の第 4 実施形態に係る回転体の異常診断装置の概略構成を示すブロック図であり、

図 30 は、本発明の第 5 実施形態に係る機械設備の異常診断装置の概略構成を示すブロック図であり、

図 31 は、図 30 に示したマイクロコンピュータの概略構成を示すブロック図であり、

図 32 は、本発明の第 6 実施形態に係る機械設備の異常診断装置の概略構成を示すブロック図であり、

図 33 は、本発明の第 7 実施形態に係る機械設備の異常診断装置の概略構成を示すブロック図であり、

図 34 (a) は、本発明の第 8 実施形態に係る機械設備の異常診断装置の概略構成を示すブロック図であり、

図 34 (b) は、図 34 (a) の軸受取付状態の側面図であり、

図 35 (a) は、本発明の第 9 実施形態に係る機械設備の異常診断装置の概略構成を示すブロック図であり、

図 35 (b) は、図 35 (a) の軸受取付状態の側面図であり、

図 36 は、本発明の第 10 実施形態に係る機械設備の異常診断装置の概略構成を示すブロック図であり、

図 37 は、本発明の第 11 実施形態に係る状態監視装置が適用される機械設備の断面図であり、

図 38 は、第 11 実施形態の状態監視装置の概略図であり、

図 39 は、図 38 の演算処理部のブロック図であり、

図 40 は、状態監視方法の診断処理の手順を示すフローチャートであり、

図 41 は、本発明に係る第 12 実施形態に係る異常診断装置が適用される機械設備である鉄道車両用軸受装置の軸受箱を示す図であり、

図 42 は、第 12 実施形態の鉄道車両用の異常診断装置を示す図であり、

図 4 3 は、本発明の第 1 2 実施形態に係る異常診断装置の変形例を示す図であり、

図 4 4 は、本発明の第 1 2 実施形態に係る異常診断装置の他の変形例を示す図であり、

図 4 5 は、本発明の第 1 3 実施形態に係る軸受装置の断面図であり、

図 4 6 は、図 4 5 に示した軸受装置の異常検出手段における信号処理系統図であり、

図 4 7 は、図 4 6 とは異なる方法の信号処理系統図であり、

図 4 8 は、本発明の第 1 4 実施形態に係る軸受装置の断面図であり、

図 4 9 は、本発明の第 1 5 実施形態に係る軸受装置の断面図であり、

図 5 0 は、従来の軸受装置の断面図であり、

図 5 1 は、従来の他の軸受装置の断面図であり、

図 5 2 は、従来の更に他の軸受装置の断面図であり、

図 5 3 は、従来の他の構成例のブロック図であり、

図 5 4 は、従来の更に他の構成例のブロック図であり、

図 5 5 は、従来の更に他の構成例のブロック図である。

#### <発明を実施するための最良の形態>

以下、添付図面に基づいて本発明に係る機械設備の状態監視方法及び装置ならびに異常診断装置について詳細に説明する。

#### <第 1 実施形態>

図 1 は、本発明の第 1 実施形態に係る鉄道車両用の異常診断装置を示したものである。異常診断装置 1 は、転がり軸受 2 1 の各列にそれぞれ設けられ、各列の状態を電気信号として出力するセンサユニット 2 2 を備えた検出処理部 2 0 と、鉄道車両設備 1 0 の欠陥や異常等の状態を判定するためにセンサユニット 2 2 の出力した電気信号を演算処理する演算処理部 3 0 と、演算処理部 3 0 の判定結果を制御・出力する制御処理部 4 0 とを備える。

異常診断装置 1 は、鉄道車両の車軸を支承する軸受装置内の複数の転がり軸受 2 1 の摩耗や破損による異常の発生を検出するものである。各転がり軸受 2 1 は、

それぞれ車体側に内嵌する静止部である外輪 2 3 と、車軸に外嵌し、車軸と共に回転する内輪 2 4 と、外輪 2 3 の内周面側に形成された外輪軌道と内輪 2 4 の外周面側に形成された内輪軌道との間に図示せぬ保持器により保持され、両軌道間に転動自在に配置された玉、ころ等の転動体 2 5 とを備えている。また、それぞれの転がり軸受 2 1 の外輪 2 3 にはセンサユニット 2 2 が組み付けられている。図 1 では、検出処理部 2 0 は、各々の転がり軸受 2 1 に組みつけられたセンサユニット 2 2 からなる検出部 2 0 a、2 0 b 及び 2 0 c により構成されている。

センサユニット 2 2 は、軸受 2 1 の回転状態に応じて変化する物理量として、音 J 1、温度 J 2、振動（振動変位、振動速度、振動加速度）J 3、回転速度 J 4、軸受外輪上に生じる歪み J 5、A E (acoustic emission)、移動速度、力、超音波等の、機械設備から運転中に発生する情報を検出する複数の検出素子であるセンサを有する。各センサは、検出した各物理量を電気信号として演算処理部 3 0 に出力する。

なお、演算処理部 3 0 は、電気信号を検出情報毎に適切に分配処理するので、各検出素子は、それぞれ独立に別の場所に配置され、音、温度、振動、回転速度、ひずみ、A E、移動速度、力、超音波等の特定の信号を独立に検出する各検出素子を複数組合わせてもよいし、複数の検出素子を独立に配置する代わりに、複数の検出素子とその筐体の内部に収納し、複数種類の信号を同時に検出する複合センサユニットをセンサユニット 2 2 として用いるように構成してもよい。

また、振動を検出するセンサとしては、圧電型の振動加速度センサ、圧電型以外の振動加速度センサ、速度検出型振動センサ、変位検出型振動センサ等を用いることができる。また、振動センサとしては、一つのセンサで多方向の振動を検出する多方向同時振動検出センサを用いてもよい。

さらに、高い S N 比で検出を行うためには、センサユニット 2 2、特に振動検出素子 2 2 d（図 2（a）参照。）を負荷がかかっている部位（負荷圏）に取り付けると、感度良く信号を検出でき、より精度の高い測定が行える。ここで、負荷圏とは、図 5 に示すように、転動体に対する荷重が負荷される領域を指す。また、負荷圏にセンサを取り付けるスペースがない時やノイズを発生する高電圧ケーブル



ルが配設されている時など止むを得ず非負荷圏に取り付ける場合は、後述のフィルタ処理部 3 4 によるフィルタ処理などで信号の検出感度を上げるようにすることで測定が可能となる。

本実施形態においては、図 2 (a) に示すように、センサユニット 2 2 は、ユニットケース 2 2 a 内に各種検出素子 2 2 b、2 2 c 及び 2 2 d を収納した構成としている。以下、センサユニット 2 2 は、ユニットケース 2 2 a 内部に軸受 2 1 の温度を検出する温度検出素子 2 2 b と、軸受 2 1 の内輪（車軸）の回転速度を検出する回転検出素子 2 2 c と、軸受 2 1 に発生する振動を検出する振動検出素子 2 2 d とを有しているとして説明を行う。

各検出素子 2 2 b ~ 2 2 c は、検出した振動、温度、回転速度に対応する電気信号を出力増幅手段である増幅器 5 0 を介して増幅し、演算処理部 3 0 に出力する。増幅器 5 0 は、図 2 (b) に示すように、センサユニットケース 2 2 a 内部にそれぞれ設けてもよいし、図 1 に示すとおり、センサユニット 2 2 と演算処理部 3 0 との間にそれぞれ設けてもよいし、演算処理部 3 0 内部に設けるように構成してもよい。好ましくは、ユニットケース 2 2 a 内に検出素子 2 2 b、2 2 c 及び 2 2 d 毎にそれぞれ増幅器 2 2 e、2 2 f 及び 2 2 g を取り付けることが好ましい。センサユニット 2 2 から出力された信号がケーブルを介して演算処理部 3 0 に伝達される間に、ノイズが入り込み、測定の信頼性が低下する恐れがあるが、予め増幅器 5 0 を介して信号レベルを大きくしておくことにより、ノイズの影響を受けにくくなり、信頼性が向上する。

センサユニット 2 2 と演算処理部 3 0 との間は、有線（ケーブル）により信号が伝達される。有線（ケーブル）は、ノイズの減少等測定精度を向上させるために、防水、防油、防塵、防錆、防湿、耐熱、耐電磁ノイズ性を有しているのが好ましい。同様に、センサユニット 2 2 の各検出素子 2 2 b ~ 2 2 d は、ノイズの減少等測定精度を向上させるために、防水、防油、防塵、防錆、防湿、耐熱、耐電磁ノイズ性を有しているのが好ましい。例えばセンサユニット内にすべての検出素子を収納し、センサユニット 2 2 のユニットケース 2 2 a に防水、防油、防塵、防錆、防湿、耐熱、耐電磁ノイズ性を持たせることによって、実施すること

が可能である。

演算処理部 30 は、各センサユニット 22 内の各検出素子（本実施形態では、温度検出素子 22b、回転検出素子 22c、振動検出素子 22d）から受け取った出力である電気信号の演算処理を行い、演算処理によって分析された分析結果を基準データと比較して軸受の異常の有無および異常発生箇所の特定を行うユニットである。ここで、基準データとは、診断対象である軸受 21 の正常時において各検出素子から検出される各種の物理量の基準値である。具体的には、正常な軸受 21 の音、温度、振動、回転速度、歪み、AE、移動速度、力、超音波等の情報の他、軸受 21 の特定部位の磨耗や破損によって生じる周波数成分の情報等である。

演算処理部 30 は、例えば、既存のオペレーションシステムと異常診断実行用ソフトウェアアプリケーションがインストールされたパーソナルコンピュータや汎用コンピュータを用いて構成してもよいし、各部毎に独立した処理、保存回路から構成される演算ユニットとして構成してもよい。

演算処理部 30 は、データ蓄積分配部 31 と、温度分析部 32 と、回転分析部 33 と、フィルタ処理部 34 と、振動分析部 35 と、比較判定部 36 と、第 1 データ保存部である内部データ保存部 37 と、第 2 データ保存部であるデータ蓄積出力部 38 と、を有している。以下、演算処理部 30 の各部の構成及び機能について詳述する。

図 3 は、第 1 のデータ蓄積部であるデータ蓄積分配部 31 を示す図である。データ蓄積分配部 31 は、データ蓄積部 31a と、サンプリング部 31b と、サンプリング基準設定部 31c とを有している。データ蓄積部 31a は、各検出素子 22b～22d からの出力信号を各信号毎に保存するデータ保存媒体であり、各種メモリやハードディスク等で構成することが可能である。

データ蓄積部 31a は、各検出素子 22b～22d から送られた信号を受け取り一時的に蓄積すると共に、信号の種類に応じて各分析部 32, 33, 34 の何れかに信号を振り分ける。各種信号は、データ蓄積分配部 31 に送られる前段にて、図示せぬ A/D コンバータによりデジタル信号に A/D 変換される。なお、

A/D変換と増幅は、順序が逆であっても構わない。

サンプリング基準設定部 3 1 b は、外部の入力部 1 0 0 から得られた情報に基づいて、振動検出素子 2 2 d が出力したアナログ信号からノイズの影響が大きい領域を除外するための基準値を設定するものである。ここで、入力部 1 0 0 は、マウス・キーボード等の入力手段であり、ユーザは、入力部 1 0 0 を介して基準値を任意に設定することが可能である。

サンプリング部 3 1 c は、時間データである振動、温度、回転速度データを所定長さに切り出して、後段の分析部に信号を出力するためのサンプリングを行う。このサンプリング部 3 1 c は、振動検出素子 2 2 d からの出力信号がサンプリング基準設定部 3 1 b が設定した基準値より大きなノイズを含んでいる場合には、そのノイズが入っている時間帯について信号のサンプリングを行わず、後段のフィルタ処理部 3 4 に信号が出力されないようにする。具体的には、信号レベルがある一定値以上となっているある 2 点 A および B を検出し、A から B の時間の間は、データをフィルタ処理部 3 4 及び振動分析部 3 5 の方に出力しないよう制御する。これにより、大きなノイズデータを含む時間領域の周波数成分を行わないようにすることが可能となり、誤った異常診断を行う可能性を小さくすることが可能である。なお、サンプリング基準設定部 3 1 b 及びサンプリング部 3 1 c は、必ずしも設ける必要はなく、また同様の効果を奏することが可能であれば、例えばデータ蓄積部 3 1 a の前段等、別の場所に配置するように構成してもよい。

温度分析部 3 2 は、温度検出素子 2 2 b からの出力信号を基に軸受の温度を算出し、算出した温度を比較判定部 3 6 に送出する。分析部 3 2 は、例えば検出素子の特性に応じた温度換算テーブルを有しており、検出信号のレベルを基に、温度データを算出する。

回転分析部 3 3 は、回転検出素子 2 2 c からの出力信号を基に、内輪 2 4、つまりは車軸の回転速度を算出し、算出した回転速度を比較判定部 3 6 に送出する。例えば、回転検出素子 2 2 c が、内輪 2 4 に取り付けられたエンコーダと外輪 2 3 に取り付けられた磁石および磁気検出素子で構成されている場合には、回転検出素子 2 2 c が出力する信号は、エンコーダの形状と回転速度に応じたパルス信

号となる。回転分析部 33 は、エンコーダの形状に応じた所定の変換関数又は変換テーブルを有しており、関数またはテーブルに従って、パルス信号から内輪 24 および車軸の回転速度を算出する。

振動分析部 35 は、振動検出素子 22 d からの出力信号を基に、軸受 21 に発生している振動の周波数分析を行う。具体的には、振動分析部 35 は、振動信号の周波数スペクトルを算出する FFT 計算部であり、FFT のアルゴリズムに基づいて、振動の周波数スペクトルを算出する。算出された周波数スペクトルは、比較判定部 36 に送られる。また、振動分析部 35 は、FFT を行う前処理として、振動信号の包絡線を求めるエンベロープ処理を行い、ノイズの低減を図るように構成してもよい。振動分析部 35 は、必要に応じて、エンベロープ処理後のエンベロープデータもあわせて比較判定部 36 に出力する。

一般に、軸受の回転に起因して生じる振動の異常周波数帯は、軸受の大きさ、回転体の数等に依存して決まっている。軸受の各部材の欠陥と、各部材で発生する異常振動周波数の関係は、図 4 に示すとおりである。周波数分析においては、サンプリング時間に応じて、フーリエ変換可能な最大の周波数（ナイキスト周波数）が決まるため、ナイキスト周波数以上の周波数は、振動信号中に含まれていないことが好ましい。そのため、本実施形態では、データ蓄積分配部 31 と振動分析部 35 の間にフィルタ処理部 34 を設け、フィルタ処理部 34 にて所定の周波数帯を切り出し、切り出された周波数帯のみを含む振動信号を振動分析部 35 に送出するように構成している。鉄道車両において、低速で車軸が回転している場合には、例えば、1kHz 以下の周波数成分のみを抽出するように構成すればよい。

また、フィルタ処理部 34 は、最初はフィルタ処理を行わず、振動分析部 35 にてまず周波数スペクトルを求め、ピークが観測される周波数帯を予め見積もり、その後に周波数帯域に対応したフィルタ処理を行った後に、改めて周波数分析を行うように構成してもよい。このように構成することによっても、不要なノイズを効果的に排除し、精度の高い周波数分析を行うことが可能となる。

図 6 は、本実施形態のセンサユニット 22 によって検出された転がり軸受 21 の振動に関する振動情報 J3 である振動信号の時間波形を示す図であり、図 7 は、

本実施形態の振動分析部 35 によって得られた振動信号の周波数スペクトルであり、図 8 は、本実施形態の振動分析部 35 によって得られたエンベロープ処理を行った後の振動信号の周波数スペクトルである。

このように、振動分析部 35 は、振動信号に対し周波数解析を行い、図 7 または図 8 に示すような周波数スペクトルを算出する。図 8 から、所定の周波数周期で強いスペクトルが観測されている。これは、図 4 に示す関係式より、転がり軸受 21 の外輪 23 の損傷に起因する周波数成分であることがわかる。

なお、図 3 では、温度分析部 32、回転分析部 33、振動分析部 35 が示されているが、各分析部は、センサユニット 22 の各検出素子によって検出される情報に応じて設ければよい。

比較判定部 36 は、振動分析部 35 が求めた振動の周波数スペクトルと、内部データ保存部 37 に保存されている基準値または周波数スペクトル中から算出される基準値とを比較し、異常振動が発生しているかどうかを判定する。ここで、基準値は、軸受の特定部位の摩耗や破損に起因した周波数成分のデータ、または周波数スペクトル毎に求められるスペクトルに含まれた所定の値である。比較判定部 36 は、周波数成分の比較による判定と同時に、温度分析部 32 および回転分析部 33 から得られた温度および回転速度の分析結果と、内部データ保存部 37 に蓄積されている軸受の各種データ等の仕様諸元データを参照し、判定の正確性を期す。

具体的には、比較判定部 36 は、振動の周波数スペクトルを基に異常有りと判定された場合、軸受の温度を確認し、温度が所定値を超えていれば重大な異常が発生していると判断する。また、何れかのみが異常を示している場合には、何らかの異常が生じていると判断する。そしてどちらの結果も正常であれば、異常なしと判断する。何れか一方のみが異常を示している場合には、複数回判定を行っても結果が変わらない場合に異常有りと判断するように構成してもよい。比較判定部 36 は、異常診断の結果をデータ蓄積出力部 38 に出力する。

比較判定部 36 が行う振動情報を基にした異常診断の具体的な処理としては、以下のような方法が挙げられる。

### (1) エンベロープデータの実効値を基準値として用いる方法

本方法では、図4の式を基に、異常時に発生する周波数成分を求める。そしてエンベロープデータの実効値を算出し、この実効値から比較用の基準値を求める。そして、基準値以上の周波数を算出し、異常時に発生する周波数成分との比較を行う。以下、図9を参照しながら説明を行う。

まず、センサユニット22aに収納された振動検出素子22dを介して軸受の振動を検出する(ステップS101)。検出された信号は、所定の増幅率で増幅され、A/D変換器によりデジタル信号に変換される(ステップS102)。デジタル信号に変換された振動信号は、所定のフォーマットにて、データ蓄積分配部31に保存される(ステップS103)。

次に、デジタル信号の周波数スペクトルを求め(ステップ104)、求められた周波数スペクトルを基に、フィルタ処理部34が、デジタル信号に適用されるフィルタ帯域を選定する(ステップS105)。フィルタ処理部34は、選定したフィルタ帯域以外の周波数成分を除去するフィルタ処理を行い(ステップS106)、フィルタ処理後のデジタル信号を振動分析部35に出力する。そして、振動分析部35は、フィルタ処理後のデジタル信号にエンベロープ処理を施し(ステップS107)、エンベロープ処理後のデジタル信号の周波数スペクトルを求める(ステップS108)。

同時に、エンベロープ処理後のデジタル信号の実効値を計算し(ステップS109)、実効値を基にして、異常診断に用いられる基準値を算出する(ステップS112)。ここで、実効値は、エンベロープ処理後の周波数スペクトルの自乗平均の平方根として求められたものである。基準値は、実効値を基に、以下の式(1)または(2)に基づき算出される。

$$(\text{基準値}) = (\text{実効値}) + \alpha \quad \dots (1)$$

$$(\text{基準値}) = (\text{実効値}) \times \beta \quad \dots (2)$$

$\alpha$ ,  $\beta$ : データの種類によって可変な所定の値

次に、図4に示す表に基づき、軸受の異常に起因して発生する周波数を求め(ス

テップ S 1 1 0)、求めた周波数に対応する各部材の異常周波数成分のレベル、すなわち、内輪傷成分  $S_i(Z_{fi})$ 、外輪傷成分  $S_o(Z_{fc})$ 、転動体傷成分  $S_b(2fb)$  及び保持器成分  $S_c(fc)$  を抽出し (ステップ S 1 1 1)、ステップ 1 1 2 で計算された基準値との比較を行う (ステップ S 1 1 3)。そして、すべての成分の値が、基準値より小さい場合には、軸受に異常は発生していないと判断し (ステップ S 1 1 4)、いずれかの成分が基準値以上である場合には、該当個所に異常が発生していると判断する (ステップ S 1 1 5)。

図 1 0 は、異常が発生していない場合の周波数スペクトルを、そして図 1 1 は、外輪に異常が発生している場合の周波数スペクトルをそれぞれ例示するグラフである。図 1 0 の例においては、エンベロープデータより、基準値が  $-29.3 \text{ dB}$  として得られた。図 1 0 中のグラフ中に基準値のラインを引き、内輪傷成分  $S_i(Z_{fi})$ 、外輪傷成分  $S_o(Z_{fc})$ 、転動体傷成分  $S_b(2fb)$  及び保持器成分  $S_c(fc)$  と比較を行うと、何れの成分のレベルも、基準値より小さかった。従って、この軸受は、正常であると判断できる。一方、図 1 1 の場合には、外輪傷成分  $S_o(Z_{fc})$  が基準値よりも大きく突出しており、軸受の外輪に異常が発生していると判断することができる。

また、図 1 2 は、保持器に傷がある場合の周波数スペクトルと基準値の関係を示すグラフである。図 1 2 においては、保持器傷に対応する周波数  $fc$  において、基準値よりも大きなピークが観測されている。このように、発生周波数のピークの有無は、軸受に起因する周波数におけるレベルと基準値との比較によって判断されるため、図 1 2 に示すような小さなピークであっても、適切に診断を行うことが可能である。

なお、ここでは、実効値を取り上げたが、移動平均などの平均値や波高率 (= ピークレベル / 平均値) を用いてもよい。

## (2) スペクトルのピークを求め、ピーク周波数と異常周波数を比較する方法

本方法では、図 4 の式を基に、異常時に発生する周波数成分を求める。そして、振動分析部 3 6 が求めた周波数スペクトルの中で所定数または基準値以上のピークについて、異常が発生する周波数成分に該当するかどうかを照合する。以下、

図 1 3 に示すフローチャートを基に詳細を説明する。

ステップ S 1 0 8 までの流れは、(1)の方法に記載したものと同様であるため省略する。本方法では、まず得られた周波数スペクトルのピークを計算する（ステップ S 1 0 9）。ここで、周波数のピークを求めるためには、第一に、各周波数成分のデータ点のレベルとその一つ前の周波数成分のデータ点のレベルの差を示す差データを求める。そして、差データの符号が正から負に代わる変曲点を探しだし、その正負の基になった差データに関与している周波数値でピークとなっていると判断する。ただし、診断に必要なピーク値は、山（傾斜）が急な鋭いピークとなっているもののみを対象とするため、傾きが所定の基準値（例えば、1 又は -1）より大きい又は小さい場合にのみ、ピークとなっていると判断するようにする。

図 1 4 は、周波数スペクトルを示す図である。図 1 4 において、連続する 3 点 A ( $X_0, Y_0$ )、B ( $X_1, Y_1$ ) 及び C ( $X_2, Y_2$ ) については、点 B がピークとなっている。この場合、A と B との差データ  $\delta_1 = Y_1 - Y_0 > 0$  となっており、B と C との差データ  $\delta_2 = Y_2 - Y_1 < 0$  となっているため、差データが正から負に変化している。そして、ここで傾き  $(Y_1 - Y_0) / (X_1 - X_0) > 1$  または  $(Y_2 - Y_1) / (X_2 - X_1) < -1$  を満たしている場合、点 B がピークであると判断する。

そして、軸受の諸元から図 4 に基づき、異常周波数を算出し（ステップ S 2 0 2）、求めた周波数に対応する各部材の異常周波数成分のレベル、すなわち、内輪傷成分  $S_i(Z_{fi})$ 、外輪傷成分  $S_o(Z_{fc})$ 、転動体傷成分  $S_b(2fb)$  及び保持器成分  $S_c(fc)$  を抽出する（ステップ S 2 0 3）。そして、ピーク周波数と異常時に発生する周波数を比較し、ピーク周波数と算出した異常周波数が一致しているかどうか判断する（ステップ S 2 0 4）。そして、あるピークが異常周波数と一致している場合には、該当する異常周波数に対応する部材に異常が発生していると判断する（ステップ S 2 0 6）。どの周波数とも一致していない場合には、異常無しと判断する（ステップ S 2 0 5）。

### (3) 基本周波数と特定の高調波を用いる方法

本方法は、異常周波数成分の基本周波数である 1 次の値、基本周波数の倍の周



波数を持つ2次の値、そして基本周波数の4倍の周波数を持つ4次の値についてピークの周波数と異常時に発生する周波数が一致しているかどうかを比較し、少なくとも2つの周波数において異常有りと判断された場合には、最終的に異常有りと判断し、異常有りと判断された周波数が一つ以下である場合には、異常なしと判断する。以下、図15を参照しながら、詳細に説明する。

周波数スペクトルを算出し、異常に起因して発生する周波数の算出までのプロセスは、方法(1)のフローと同様である。本方法では、比較において、まず図15に示すように、異常時に発生する基本成分(1次成分)の周波数において、スペクトルの値が基準値以上であるかどうかを判断する(ステップS301)。スペクトルの値が、基準値以上である場合には、1次成分が一致したと判断し、ステップS302へ進む。一方、一致しなかった場合には、ステップS311へ進む。

ステップS302では、異常時に発生する基本成分の2倍の周波数をもつ2次成分の周波数において、スペクトルの値が基準値以上であるかどうかを判断する。スペクトルの値が、基準値以上である場合には、2次成分が一致したと判断し、ステップS321で該当個所に異常が発生していると最終判断する。一方、一致しなかった場合には、ステップS312へ進む。

ステップS311でも、異常時に発生する基本成分の2倍の周波数をもつ2次成分の周波数において、スペクトルの値が基準値以上であるかどうかを判断する。スペクトルの値が、基準値以上である場合には、2次成分が一致したと判断し、ステップS312へ進む。一方、一致しなかった場合には、ステップS321へ進み、該当個所に異常は発生していないと最終判断する。

ステップS312では、異常時に発生する基本成分の4倍の周波数をもつ4次成分の周波数において、スペクトルの値が基準値以上であるかどうかを判断する。スペクトルの値が、基準値以上である場合には、4次成分が一致したと判断し、ステップS321で該当個所に異常が発生していると最終判断する。一方、一致しなかった場合には、該当個所に異常は、発生していないと最終判断する。

図16は、外輪に傷がある場合の、周波数スペクトルを示す図である。基本周

波数である  $Z_{fc}$  の自然数倍の高調波が観測されていることがわかる。この場合の基準値が  $-10 \text{ dB}$  である場合には、1 次、2 次及び 4 次の成分すべてについて、スペクトルの値が基準値以上となっていることがわかる。従って、本方法の処理により、外輪に異常が発生していると判断される。

一般に、異常に対応する周波数に偶然ノイズ等の影響により大きなピークが観測されるような場合が考えられるが、本方法によれば、1 次、2 次及び 4 次の成分の内、少なくとも 2 つの周波数において、ピークの値が基準値以上でなければ異常と判断しないため、誤判断を行う可能性を減少することが可能となる。

なお、図 15 のフローチャートでは、1 次、2 次、4 次の順に比較を行ったが、ピークレベルが大きい方から順に比較を行うように構成してもよい。この場合には、最もピークが大きな周波数のピークが基準値以下であれば、その時点で、異常なしと判断することが可能であり、演算時間を短縮することが可能である。また、組み合わせる周波数成分としては、1 次の値、2 次の値および 3 次の値の組み合わせや 2 次の値、4 次の値および 6 次の値の組み合わせであってもよい。

#### (4) 異常診断と共に損傷の大きさを推定する方法

方法 (1) ~ (3) において、異常の有無を診断したが、以下のようにして、損傷の大きさを推定することも可能である。図 17 は、エンベロープ処理後の周波数スペクトルを示す図である。図において、周波数  $Z_{fc}$  に大きなピークが観測されており、外輪に損傷が発生していることがわかる。この  $Z_{fc}$  におけるピークの値  $L_n$  と周波数スペクトル全体の平均値である基準レベル  $L_0$  を比較すると、異常を起こしている外輪における損傷の大きさを推定することができる。

図 18 は、転がり軸受において、軌道輪の損傷である剥離が生じた場合に、剥離の大きさと、実測周波数スペクトルデータ d 1 上に現れるピークと基準レベルとの間のレベル差の関係を示したものである。このように、一般的に、レベル差は、損傷の大きさに比例して増大するため、逆に、実測周波数スペクトルデータ d 1 上のピークにおけるレベル差を求めることで、損傷の大きさを推定することが可能である。なお、実測周波数スペクトルデータ d 1 上でのピークレベルの増大は、周波数成分の 1 次値に対応するピークで一番顕著となる。従って、異常が

検出された場合に、周波数成分の1次の値  $L_n$  と基準レベル  $L_0$  とのレベル差  $l$  を計算することにより、損傷の度合いを推定し、損傷の度合いに応じて、損傷部品の交換時期を決定することができる。これにより、過剰な部品交換やメンテナンスの実施するのではなく、適切な時期に交換を行うようにし、維持コストを削減することが可能となる。

#### (5) 基本周波数の自然数倍の高調波成分とのレベル差を基準値とする方法

本方法は、異常周波数成分の基本周波数である1次のレベルに対して、基本周波数の2、3、4、 $\dots$   $n$  倍の周波数を持つ2、3、4、 $\dots$   $n$  次のレベルが基準値以上となっている個数をカウントし、所定個数以上基準値を超えている場合に、異常が発生していると判断するものである。具体的には、1次のレベルに対し、 $n$  次の値が  $\{(1 \text{ 次のレベル}) - (n - 1) \cdot a\}$  (dB) 以上である場合に、カウントを行う。ここで  $a$  は、任意の値である。以下、図19に示すフローチャートを参照しながら説明する。

図19は、本方法における処理フローを示すフローチャートである。本方法における周波数スペクトル算出までの処理は、図9のフローチャートのステップS101～ステップS108に至るまでの処理と同一である。図19には、ステップS108以降の処理を示す。

まず、図4に示す式を参照して、軸受の異常に起因する異常周波数を軸受の各部位（外輪、内輪、転動体、及び保持器）毎に算出し（ステップS401）、異常周波数に対応する周波数スペクトルのレベルを抽出する（ステップS402）。そして、異常周波数の自然数倍（2、3、 $\dots$   $n$  倍）の周波数に対応する周波数スペクトルのレベルをそれぞれ算出する（ステップS403）。ここでは、基本となる異常周波数の2、3、4、5倍の周波数を持つ2次、3次、4次及び5次成分を抽出するものとする。

次に、基本となる1次の値を基準として、各2、3、4、5次成分のレベルの確認を行う（ステップS404）。ここでは、各成分のレベルが  $\{(1 \text{ 次のレベル}) - 3(n - 1)\}$  (dB) 以上である場合に、異常有りのカウントを行う。具体的には、以下の場合に、各成分に関し異常有りのカウントが行われる。

$$(\text{2次成分のレベル}) > (\text{1次成分のレベル}) - 3$$

$$(\text{3次成分のレベル}) \geq (\text{1次成分のレベル}) - 6$$

$$(\text{4次成分のレベル}) > (\text{1次成分のレベル}) - 9$$

$$(\text{5次成分のレベル}) > (\text{1次成分のレベル}) - 12$$

そして、異常有りのカウントの個数が所定個数以上であるかどうかを確認することによって、最終的な異常判断を行う（ステップS405）。ここでは、2個以上異常有りのカウントがあれば、最終的に異常有りと判断し、1個以下であれば、異常なしと判断する。

図20は、円筒ころ軸受（外径215mm、内径100mm、幅47mm、ころ数14）を約300min<sup>-1</sup>で内輪を回転させたときの周波数スペクトルのレベルと基準線との関係を示す図である。図中の直線は、上述の基準値を線で結んだ判定基準線である。軸受にきずがある場合には、2次以上の成分の値は、判定基準線以上となっているが、正常状態でも発生するころ落ち音に対応するピークのレベルは、2次及び4次成分にて、この判定基準線を下回っている。一般に、ころ落ち音（転動体落ち音）は、外輪に欠陥がある場合と比較して高次成分が低いため、図20で示すように、殆どの値が判定基準線を下回る。これにより、ころ落ち音等、外輪に欠陥がある場合と同じ周波数にピークが現れるような場合であっても、高次成分のレベルを比較することにより、異常か正常かをより精度よく判断することが可能である。

（6） 周波数帯域毎のレベルの自乗平均またはパーシャルオーバーオールを用いる方法

本方法では、異常に起因する周波数のピークレベルそのものの値ではなく、異常に起因する周波数を含む周波数帯のレベルの自乗平均またはパーシャルオーバーオールを用いて、異常診断を行う。ここで、自乗平均  $V_i$  及びパーシャルオーバーオール  $S_i$  は、以下の式で与えられる。ここで、 $V_{RMS}$  および  $S_{OA}$  は、全周波数帯における自乗平均及びオーバーオールである。オーバーオールは、特定の指定区間の総和

を意味する。

<数 1>

$$V_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m (P_k - \bar{P}_m)^2 \quad \dots (1)$$

$$S_i = \sum_{k=1}^m P_k \quad \dots (2)$$

$$V_{RMS} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 \quad \dots (3)$$

$$S_{OA} = \sum_{i=1}^N P_i \quad \dots (4)$$

ただし、

$$N \cdot \Delta f \leq \frac{f_s}{2} \quad \dots (5)$$

$m$  : 切り出される周波数帯域幅 (データ点数)

$\bar{P}_m$  : 区間  $m$  におけるスペクトルの平均値

$P_i$  : 周波数  $i$  におけるスペクトルの値

$\bar{P}$  : 区間  $N$  におけるスペクトルの平均値

$f_s$  : サンプリング周波数

$\Delta f$  : 隣り合う周波数の幅 (周波数分解能)

図 2 1 は、本方法の処理フローを示すフローチャートである。本方法における周波数スペクトル算出までの処理は、図 9 のフローチャートのステップ S 1 0 1 ～ステップ S 1 0 8 に至るまでの処理と同一である。図 2 1 には、ステップ S 1 0 8 以降の処理を示す。

まず、図 4 に示す式を参照して、軸受の異常に起因する異常周波数を軸受の各部位 (外輪、内輪、転動体、及び保持器) 毎に算出し (ステップ S 5 0 1)、その後、算出された周波数を含む周波数帯域について、自乗平均 ( $V_i$ ) 又はパーシャルオーバーオール ( $S_i$ )、及び、周波数スペクトルの帯域全体の自乗平均 ( $V_{RMS}$ ) 又はオーバーオール ( $S_{OA}$ ) である正規化値を算出する (ステップ S 5 0 2)。そして、前述の一つの次数成分帯域の自乗平均 ( $V_i$ ) 又はパーシャルオーバーオール ( $S_i$ ) を前記正規化値 ( $V_{RMS}$  又は  $S_{OA}$ ) で除した値又は差分の値を算出する (ステップ S 5 0 3)。

次に、除した値又は差分の値を保存されている参照データと比較照合し、除し

た値又は差分の値が正常な範囲であるかどうか、具体的には所定の基準値以上かどうかを判断する（ステップ S 5 0 4）。除した値又は差分の値が所定の基準値以上または以下であれば、異常有りと判断し、周波数帯に基づき、異常発生箇所を特定する（ステップ S 5 0 5）。ここで、基準値以上であるか以下である場合に異常有りとするかは、実際の測定によって定めればよい。それ以外の場合は、異常なしと判断する（ステップ S 5 0 6）。

以上の方法を、実際の測定結果を引用して説明する。図 2 2 は、外輪に異常がある場合の周波数スペクトルを、図 2 3 は、外輪に異常が無い場合のスペクトルを示すグラフである。図 2 2 の左端近傍（10～20Hz あたり）には、異常ピーク周波数帯が存在する。このスペクトル全体の自乗平均値  $V_a$  は、0.016 である。一方、図 2 0 の対応するスペクトル全体の自乗平均値  $V_n$  は、0.008 である。ここで、外輪きずに起因する異常周波数帯（基本周波数）に対して抽出する周波数帯域幅を 2Hz とすると、その帯域における自乗平均値を  $V$  で正規化した値は、図 2 2 の場合 90.78 であり、図 2 3 の場合 38.47 となる。異常を有する場合は、正常時に比べて約 2.4 倍正規化した値が大きいことがわかる。従って、90.78 と 38.47 の間又は正常時と異常時の比に所定のしきい値を設け、しきい値より大きい場合には、外輪に異常が発生していると判断することができる。

一方、図 2 4 及び図 2 5 は、複数の帯域を用いる場合の例を示す。図 2 4 は、外輪に損傷を有するころ軸受及び正常な歯車（歯数；31）を有する機械設備のエンベロープ周波数スペクトルを示すグラフである。この図では、5つの周波数ピークが観測されており、基本周波数から、その整数倍毎に 2 次成分から 5 次成分までが観測されている。一方、図 2 5 は、図 2 4 に対応する正常時の観測データであり、特異周波数は見あたらない。

以下、図 2 4 及び図 2 5 のデータに関し、上記手法を適用してみる。外輪きずに起因する基本周波数およびその 5 次までの成分の各帯域における自乗平均値の和をスペクトル全体の自乗平均値で正規化した値は、図 2 4 の場合は 11.64 であり、図 2 5 の場合は 5.19 となる。ここで、5 次の高調波とは、基本周波数から数えて 5 番目のピークを意味する。異常を有する場合は、正常時に比べて約 2.2 倍

正規化した値が大きいことがわかる。従って、11.64 と 5.19 の間又は正常時と異常時の比に所定のしきい値を設け、しきい値より大きい場合には、外輪に異常が発生していると判断することができる。

以上が、比較判定部 36 により異常の有無の判断を行う場合の具体的な処理パターンである。比較判定部 36 は、これらの方法のうち複数の判断方法を用いて異常診断を行うように構成してもよい。複数の判断方法により、異常と判断することは、異常診断の正確さが向上するため好ましい。

データ蓄積出力部 38 は、比較判定部 36 の判定結果を保存する保存部であり、ハードディスクやメモリ媒体等で構成される。データ蓄積出力部 38 は、比較判定部 36 の判定結果を制御部 41 及び結果出力部 42 に出力する。データ蓄積出力部 38 は、リアルタイムに制御処理部 40 に出力するように構成されているが、これに限定されることはなく、定期的に制御処理部 40 に出力を行ったり、以下に説明する制御処理部 40 の動作に必要な場合（異常発生と診断された場合）にのみ、結果を出力するように構成しても良い。

制御処理部 40 は、演算処理部 30 の分析結果や判定結果を所定の表示形態で表示する表示手段としての結果出力部 42 と、軸受 21 が組み込まれている車両の駆動機構の動作を制御する制御系に前記比較判定部 36 の判定結果に応じた制御信号 S1 をフィードバックする制御部 41 とを備えている。

結果出力部 42 は、具体的には、モニターや画像表示やプリンタへ印刷出力によって、演算処理部 30 の分析結果や判定結果を通知する他、演算処理部 30 の判定結果が異常有りの場合には、警告灯の点滅や警報機の作動による通知を行う。

制御部 41 は、例えば、演算処理部 30 の判定結果が異常有りの場合に、異常の程度に応じて、車両の走行停止や、速度の減速等を示す制御信号 S1 を車両の走行制御器に送る。本実施形態では、複数のセンサユニット 22 は、軸受装置の軸受の状態を連続で測定し、演算処理部 30 は、測定されたデータに基づき順次異常診断するようにしている。従って、制御処理部 40 は、異常が発生したら即座に異常を通知し、車両の制御を行う。即ち、検出、分析、判定及び結果出力の流れがリアルタイムに行われている。

なお、センサユニット 22 は、常に測定を行うように構成してもよいし、または所定時間毎に測定を行うように構成しても構わない。また、リアルタイムに異常診断を行う代わりに、車両運行時には測定及び測定データの蓄積のみを行い、後に別の場所で解析を行うように構成してもよい。例えば、日中は測定のみを行い、夜間にまとめて分析、判定及び結果出力を行うように構成しても構わない。

以上、説明した本実施形態の車軸用軸受装置の異常診断装置 1 は、鉄道車両の車軸用軸受装置の軸受装置の異常の有無を診断する異常診断装置であって、軸受装置から発生する信号を電気信号として出力する複数の検出素子を有する検出処理部 20 と、検出処理部 20 の出力を基に軸受装置の異常診断を行う演算処理を行う演算処理部 30 と、演算処理部 30 による判定結果を出力する結果出力部 42 と、判定結果に基づき鉄道車両の制御系に制御信号をフィードバックする制御処理部 41 と、を備えている。

また、本実施形態の異常診断装置 1 では、軸受 21 の構成部品の摩耗や破損に起因した異常の有無を、予め軸受 21 に組み込まれているセンサユニット 22 の出力を演算処理部 30 の各分析部 32, 33, 35 において分析する。そして、異常診断装置 1 は、内部データ保存部 37 に予め用意しておいた基準データと分析結果を比較することで異常の有無を判定する。

したがって、この異常診断装置 1 は、センサ付き軸受 21 の構成部品の摩耗や破損に起因した異常の有無を判定するため、センサ付き軸受 21 自体や軸受 21 を含む鉄道車両自体を分解をせずに通常の使用状態のままで異常の有無を判定することができ、手間のかかる分解・組み立て作業の頻度を減少させて保守・管理コストを低減させることができる。

また、規定の演算処理による分析や比較で機械的に判定を行うため、従来の目視検査と比較すると、検査担当者の熟練度や個人差によって判定がばらつく虞がなく、異常の有無の診断の信頼性を向上させることができる。

また、転がり軸受 21 を構成する回転体の構成部品である外輪等に直にセンサユニット 22 が装備され、センサが高感度で転がり軸受 21 の発生する物理量を検出するため、転がり軸受 21 の周囲の他の器物が発生する音や振動の周波数成



分のピークが、センサの検出する信号のＳＮ比に悪影響を及ぼす危険が低減し、センサの出力信号のＳＮ比の改善によって、分析・判定の精度の向上を図ることができる。

したがって、例えば、鉄道車両がレールの継ぎ目の上を通過する際に発生するノイズや、軸受２１に関係の無い機器等から発生する振動等の周波数成分のピークによってセンサユニット２２の検出信号が大きく歪む危険がなくなり、センサユニットの出力信号のＳＮ比の改善によって、計算負荷の軽減や、解析に要する時間のロスも少なくすることができ、分析・判定の精度の向上及び処理の迅速化を図ることができる。

また、本実施形態では、センサユニット２２にセンサ出力を増幅する増幅器が内蔵されることで、センサユニット２２の出力信号は既に増幅され振幅が大きくなっているため、センサユニット２２と演算処理部３０との間の信号伝達経路等で加わるノイズの影響を抑えることができる。これにより、ノイズによる処理精度の低下を防止して、異常診断の信頼性を向上させることができる。

なお、本実施形態の異常診断装置１は、軸受装置の軸受の異常の有無及び異常発生箇所を診断するとしたがこれに限られず、車輪のフラット部を診断するように構成してもよいし、また軸受装置の歯車の異常の有無及び異常発生箇所を診断するように構成してもよく、取り外しや組付けに多大な手間がかかる各種の大型の回転体を、本発明の異常診断の対象とすることができる。

なお、比較判定部が行う振動情報を基にした異常診断の具体的な処理として（１）～（６）の手法が述べられたが、上記の手法に限定されるものでなく、周波数スペクトルをケプストラム分析することにより異常診断を行うようにしてもよい。

## <第２実施形態>

次に、本発明の第２実施形態に係る機械設備の異常診断装置について詳細に説明する。なお、第１実施形態と同等の部分については同一の符号を付して、重複する説明は省略若しくは簡略する。

本実施形態では、図２７に示すように検出処理部２０の代わりに、図２６に示

すように、演算処理部 30 と無線通信を行うセンサユニット 52 を有する検出部 51 a、51 b、51 c からなる検出処理部 51 を有する。各検出部 51 a、51 b、51 c は、それぞれ軸受 21 の外輪 23 上にセンサユニット 52 が取り付けられて構成されている。このセンサユニット 52 は、センサケース 52 a の内部に温度検出素子 52 b と、回転検出素子 52 c と、振動検出素子 52 d と無線通信の送信部 52 h が取り付けられている。各検出素子には、各検出素子 52 b ~ 52 d が検出した信号を所定の増幅率で増幅する増幅器を設けても良い。送信部 52 h は、演算処理部 30 に設けられた受信部 60 に無線を介して信号を送信する。

以上のように構成することにより、検出処理部 51 と演算処理部 30 間の配線等を考慮することなく、センサユニットを軸受装置に取り付けることが可能となるため、センサユニットの配置自由度が増し、精度が高くなる位置にセンサユニットを取り付けることが容易になる。同様の送信部及び受信部を設けることにより、演算処理部 30 と制御処理部 40 との間を無線通信で行うように構成しても良い。

その他の構成及び作用については、第 1 実施形態のものと同様である。

### < 第 3 実施形態 >

図 28 は、本発明の第 3 実施形態に係る機械設備の異常診断装置の概略構成を示すブロック図である。本実施形態の回転体の異常診断装置 60 は、第 1 実施形態の異常診断装置 1 において、車軸を支承するセンサ付軸受 21 に装備されるセンサユニットを改良すると共に、センサユニットの出力信号に基づいて一定の処理を行う演算処理部 30 及び制御処理部 40 の装備形態を工夫したものである。

演算処理部 30 や制御処理部 40 の具体的な構成や処理方法は、第 1 実施形態と同様であるので、共通する構成には第 1 実施形態と同じ番号を付すことによって、これらの演算処理部 30 や制御処理部 40 に関する説明は省略する。

本実施形態のセンサユニット 61 は、軸受 21 に対して検出を行う物理量自体は、図示のように、音 J1、温度 J2、振動 J3、回転速度 J4、ひずみ J5、AE、移動速度、力、超音波等で、これらの検出信号を図示せぬ増幅器 50 によ

って増幅して出力する点は、第1実施形態と同様である。

本実施形態のセンサユニット60は、増幅器50を経た出力信号を無線送信する無線通信機を備えている。前記センサユニット60の出力は、無線通信によって信号送受信装置63に送出される。

信号送受信装置63は、例えば、センサ付軸受21を搭載した鉄道車両65の走行経路に沿って、無線出力の到達範囲内の適宜間隔で線路際や途中の駅などに、設置される。信号送受信装置63は、センサユニット61から受信した信号を有線又は無線通信を用いて情報処理センター67に送出する。

情報処理センター67は、演算処理部30及び制御処理部40を備えている。情報処理センター67は、センサユニット61の出力信号を、信号送受信装置63を介して受信し、演算処理部30のデータ蓄積分配部31に蓄積する。そして、データ蓄積分配部31は、演算処理部30内の各分析部32, 33, 35に受信した信号を分配する。分配された信号は、各分析部32, 33, 35にて、所定の処理が施される。

センサユニット61の出力には、出力したセンサユニットを特定するための個体識別情報（ID情報）が埋め込まれている。演算処理部30及び制御処理部40は、この個体識別情報をもとに、受信した出力がどの軸受21から送られてきたものか判断し、軸受毎にデータを区別して処理・蓄積を行う。これにより、情報処理センター67は、演算処理部30や制御処理部40を複数台の鉄道車両65で共有させ、複数の軸受21の異常の有無の診断を集中管理する。

また、情報処理センター67に設置された制御処理部40には、鉄道車両65の制御系に無線通信で制御信号S1をフィードバックする無線通信機（図示略）が追加されている。

以上の異常診断装置60では、センサユニット61の出力を、軸受を有する鉄道車両上に布設した信号線で演算処理部に伝達する場合と比較して、演算処理部30や制御処理部40の配置自由度が高まり、当該回転体の異常診断装置60の設置が容易になる。

また、センサユニット61が出力する信号に、個体識別情報（ID情報）を埋

め込むことによって、情報処理センター 67 に設置された演算処理部 30 や制御処理部 40 を、複数台の鉄道車両 65 で共有させることができ、より多数の軸受 21 の異常の有無の診断を集中管理して、軸受 21 の異常診断処理の効率化や、異常診断用の設備の低コスト化を図ることができる。

その他の構成及び作用については、第 1 実施形態のものと同様である。

#### <第 4 実施形態>

図 29 は、本発明の第 4 実施形態に係る機械設備の異常診断装置を示したものである。なお、第 1 実施形態と同等の部分については同一の符号を付して、重複する説明は省略若しくは簡略する。

この第 4 実施形態の機械設備の異常診断装置 70 は、鉄道車両 65 の車軸を支承する軸受として、第 1 実施形態で示したセンサ付軸受 21 を使用し、この軸受 21 に組み込まれたセンサユニット 22 で検出したデータを、鉄道車両 65 とは離れた情報処理センター 71 に設置された演算処理部 73 及び制御処理部 75 によって分析・判定する。

演算処理部 73 は、センサユニット 22 が出力した信号を分析・判定するための構成手段は、第 1 実施形態と共通であるが、センサユニット 22 の出力データを一時蓄積すると共にデータ種類に応じて各分析部 32, 33, 35 に分配するデータ蓄積分配部 31 が、容易に着脱できる構成になっている。

また、鉄道車両 65 には、データ蓄積分配部 31 を容易に着脱できる蓄積部接続部（図示略）が装備されている。この蓄積部接続部に装着されたデータ蓄積分配部 31 は、各軸受 21 のセンサユニット 22 が出力した信号を蓄積することができる。

この異常診断装置 70 は、センサユニット 22 の出力を蓄積したデータ蓄積分配部 31 を、鉄道車両 65 から取り外して情報処理センター 71 に搬入し、情報処理センター 71 内の演算処理部 73 に接続することで、データ蓄積分配部 31 に蓄積されている諸データの分析・判定を行い、演算処理部 73 における判定結果や分析結果を制御処理部 75 の結果出力部 27 が、管理者等に通知する。

蓄積データの分析・判定を済ませたデータ蓄積分配部 31 は、必要に応じて使

用済みデータの消去等の保守を実施した後に、鉄道車両 65 に戻して再利用する。

以上の構成の異常診断装置 70 は、リアルタイムの分析・判定には不向きであるが、データ蓄積分配部 31 に蓄積されたデータを長期保管したり、或いは詳細に分析する場合に適している。

また、情報処理センター 71 に設置される演算処理部 73 や制御処理部 75 は、第 3 実施形態の場合と同様に、多数の車両で共用することができるため、異常診断を行う設備費の削減にも適する。

その他の構成及び作用については、第 1 実施形態のものと同様である。

#### < 第 5 実施形態 >

図 30 は、本発明の第 5 実施形態に係る機械設備の異常診断装置を示したものである。なお、第 1 実施形態と同等の部分については同一の符号を付して、重複する説明は省略若しくは簡略する。

第 5 実施形態の機械設備の異常診断装置 80 は、鉄道車両の車軸を支承する転がり軸受 21 に対して、該転がり軸受 21 の各構成部品の摩耗や破損による異常の発生を検出するものである。即ち、車軸を支承する転がり軸受 21 が、異常の有無の診断対象となる回転体と摺動部材の少なくとも一つであり、転がり軸受 21 によって車軸を支承した台車又は鉄道車両が 1 又は複数個の回転体或いは摺動部材を含む機械設備 90 に該当する。

本実施形態の場合、軸受 21 は、軸受の回転動作時の音又は振動等の各種の物理量を検出して電気信号として出力するセンサユニット 22 を、軸受の構成部品である外輪に組み付けたセンサ付軸受である。一つの車両には、複数個のセンサ付軸受 21 が使用される。

本実施形態の機械設備の異常診断装置 80 は、各軸受 21 毎に装備された複数個のセンサユニット 22 と、各センサユニット 22 の出力を所定の演算処理によって分析し、分析結果を予め用意しておいた基準データと比較して軸受 21 における異常の有無を判定する演算処理部としてのマイクロコンピュータ 81 と、このマイクロコンピュータ 81 の分析結果や判定結果を所定の表示形態で表示した

り、前記判定結果に応じた制御信号を鉄道車両の制御系にフィードバックしたりする制御処理部 40 とを備えている。

摺動部材である軸受 21 の摺動動作（回転動作）時の物理量とは、軸受 3 の回転状態に応じて変化する物理量で、例えば、軸受 3 の発生する音や振動、更には、回転速度や温度、摺動部材構成部品上に生じる歪み等の各種の情報が考えられる。

センサユニット 22 は、第 1 実施形態と同様、軸受 21 の回転状態に応じて変化する物理量として、音 J1、温度 J2、振動（振動変位、振動速度、振動加速度）J3、軸受の回転速度 J4、軸受外輪上に生じる歪み J5、AE、移動速度、力、超音波等、多数の情報を検出する 1 又は複数の検出素子を有し、検出したこれらの各情報を検出信号として、マイクロコンピュータ（演算処理部）81 に送る。

センサユニット 22 は、軸受外輪に固定されるセンサケース 22a 内に、検出する各情報毎のセンサを收容保持した構成である。また、センサケース 22a 内には、各センサの出力信号を増幅して出力する出力増幅手段が内蔵されている。

分析結果と比較する基準データとは、診断対象である軸受 21 の正常時において前記センサユニットから検出される各種の物理量であり、具体的には、正常な軸受 21 の音情報、軸受温度情報、振動情報、軸受の回転速度情報、軸受外輪上に生じる歪み情報等の他、軸受 3 の特定部位の摩耗や破損によって生じる周波数成分の情報等である。

前記マイクロコンピュータ 81 は、本実施形態のシステム用に開発された 1 チップマイクロコンピュータ、又は 1 ボードマイクロコンピュータであって、マイクロコンピュータ 81 内部によって、第 1 実施形態に記載の演算処理部 30 内部と同様な処理が行われる。即ち、マイクロコンピュータ 81 は、図 31 に示すように、データ蓄積分配部 31 と、温度分析部 32 と、回転分析部 33 と、フィルタ処理部 34 と、振動分析部 35 と、比較判定部 36 と、内部データ保存部 37 と、を有しており、第 1 実施形態で説明した通り、センサから受け取った出力である電気信号の演算処理を行い、軸受の異常の有無および異常発生箇所を特定を行う。マイクロコンピュータ 81 は、異常診断結果を制御処理部 40 に出力する。

なお、本実施形態では、各分析部 3 2, 3 3, 3 5 における分析結果及び比較判定部 3 6 における判定結果を制御処理部 4 0 に直接出力しているが、第 1 実施形態と同様にデータ蓄積出力部を設けてもよい。

制御処理部 4 0 は、マイクロコンピュータ 8 1 の分析結果や判定結果を所定の表示形態で表示する表示手段としての結果出力部 4 2 と、軸受 2 1 が組み込まれている車両の駆動機構の動作を制御する制御系に前記比較判定部 3 6 の判定結果に応じた制御信号 S 1 をフィードバックする制御部 4 1 とを備えている。制御処理部の作用・効果は第 1 実施形態に説明したものと同様である。

以上に説明した本実施形態の機械設備の異常診断装置 8 0 では、予め摺動部材としての転がり軸受 2 1 に組み込まれているセンサユニット 2 2 の出力を情報処理装置としてのマイクロコンピュータ 8 1 によって分析すると共に、その分析結果を予め用意しておいた基準データと比較することで、転がり軸受 2 1 の構成部品の摩耗や破損に起因した異常の有無を判定するため、転がり軸受 2 1 自体や転がり軸受 2 1 を含む鉄道車両自体を分解せずに通常の使用状態のままで判定することができる。

従って、手間のかかる分解・組み立て作業の頻度を減少させて保守・管理コストを低減させることができる。また、規定の演算処理による分析や比較で機械的に判定を行うため、従来の目視検査と比較すると、検査担当者の熟練度や個人差によって判定がばらつく虞がなく、異常の有無の診断の信頼性を向上させることができる。

また、情報処理部として、マイクロコンピュータ 8 1 を使用する構成で、マイクロコンピュータ 8 1 自体は、1 チップ又は 1 ボードの小さな専用ユニットとすることができるため、情報処理装置として汎用のパーソナルコンピュータを使用する監視システムと比較すると、システム全体を大幅にコンパクト化でき、装備に必要な占有スペースが少なくて済むため、摺動部材を含む機械設備（即ち、鉄道車両等）への装備が容易になる。

また、転がり軸受 2 1 を構成する機構部品である外輪等に直にセンサユニット 2 2 が組み込まれて、センサユニット 2 2 が高感度で転がり軸受 2 1 の発生する

物理量を検出するため、転がり軸受 21 の周囲の他の器物が発生する音や振動の周波数成分のピークが、センサユニット 22 の検出する信号の S/N 比に悪影響を及ぼす危険が低減し、センサユニット 22 の出力信号の S/N 比の改善によって、分析・判定の精度の向上を図ることができる。

更に、情報処理部がコンパクト化でき、且つ汎用の大きな筐体等を使用せずに済むため、情報処理装置としての耐震性を向上させることが容易にでき、その結果、センサユニット 22 と共に転がり軸受 21 に接近して装備することができ、転がり軸受 21 とマイクロコンピュータ 81 との接近によって外部ノイズの影響を回避して、異常の有無の診断の信頼性を向上させることもできる。

また、本実施形態では、センサユニット 22 自体に、その出力信号を増幅して出力する出力増幅手段（アンプ）が内蔵されているが、センサ出力を増幅する出力増幅手段は、センサユニット 22 とマイクロコンピュータ 81 との間に接続したり、マイクロコンピュータ 81 側に内蔵したりする構成としてもよい。

#### <第 6 実施形態>

図 32 は、本発明の第 6 実施形態に係る機械設備の異常診断装置の概略構成を示すブロック図である。

本実施形態の機械設備の異常診断装置 100 は、単一のマイクロコンピュータ 81 が複数個のセンサユニット 22 の情報を処理する構成としたもので、それ以外の構成は、第 5 実施形態と同様であるので、共通する構成には第 5 実施形態と同じ番号を付すことによって、これらのマイクロコンピュータ 81 や制御処理部 40 に関する説明は省略する。

マイクロコンピュータ 81 の演算処理能力等に余裕がある場合には、このように複数個のセンサユニット 22 からの情報を単一のマイクロコンピュータ 81 で処理する構成とすることで、高価なマイクロコンピュータ 81 の装備数を軽減し、コスト低減を図ることができる。

なお、以上の実施形態では、マイクロコンピュータ 81 の装備位置については、言及していないが、好ましくは、マイクロコンピュータ 81 もセンサユニット 22 と共に、回転体又は摺動部材或いは前記摺動部材を支持する機構部品に組み付け



た構成とすると良い。このようにすることで、センサユニット 22 とマイクロコンピュータ 81 との双方を、互いに接近して同一の構成部材上に配置するシステム装備形態を得ることができ、センサユニット 22 とマイクロコンピュータ 81 との間を接続する信号線長が冗長にならないため、信号線の散乱等による不都合の発生を防止することができる。

また、センサユニット 22 とマイクロコンピュータ 81 との間の信号伝送路への外部ノイズの影響を低減して、検出信号に対する信頼性を向上させることもできる。

#### <第 7 実施形態>

図 33 は、本発明の第 7 実施形態に係る機械設備の異常診断装置を示したものである。

この第 7 実施形態の機械設備の異常診断装置 110 は、前記マイクロコンピュータ 81 と前記センサユニット 22 とを単一のデバイス基板に搭載して、単一の処理ユニット 112 として、前記転がり軸受 21 の構成部品に組み付けたものである。転がり軸受 21 や、マイクロコンピュータ 81 が判定結果を出力する制御処理部 40 は、前述の各実施形態の場合と同様の構成でよいので、説明を省略する。このように構成した異常診断装置 110 では、機械設備 90 に対する監視システムの取り付けが、単一のユニット 112 の取り付けで済み、取り付け作業性を向上させることができる。

なお、本発明に係る機械設備の異常診断装置において、センサユニット 22 とマイクロコンピュータ 81 との間は、信号ケーブル等で接続せず、無線通信によって信号の送受を行うようにしてもよい。このようにすると、センサユニット 22 の出力を、摺動部材を有する設備上に布設した信号ケーブルでマイクロコンピュータ 81 に伝達する場合と比較すると、マイクロコンピュータ 81 や制御処理部の配置自由度が高まり、当該機械設備の異常診断装置の設置が更に容易になる。

#### <第 8 実施形態>

図 34 (a) および図 34 (b) は、本発明の第 8 実施形態に係る機械設備の異常診断装置を示したものである。

この第8実施形態の機械設備の異常診断装置151は、演算処理を行うCPU152を含んだマイクロコンピュータと、増幅回路(Amp)153と、A/D変換回路(ADC)154, 155と、外部メモリ(RAM, ROM, ROM)156, 157, 158と、通信用回路(LANIF, SCI)159, 160と、を基板(不図示)上に実装させた診断ユニット161を単一のケース(筐体)161A内に收容したものである。そして、センサとして、圧電素子162と、温度センサ163と、回転パルスゼネレータ164とが、軸受21に組み付けられている。

圧電素子162は、軸受21の転動体(不図示)が軌道輪(不図示)上の傷を通過する際における、振動音響信号や微小クラックが進展する際のAE(アコースティックエミッション)信号等をとらえて電圧又は電荷に変換する。電圧又は電荷は、圧電素子162に近接させて配置されたプリアンプ(前置増幅回路)165によって20~40dB程度増幅され、更に、ケース161内に入った信号は、増幅回路153によりA/D変換器154の入力レンジに見合った電圧に変換される。増幅回路153により変換された電圧信号は、バンドパスフィルタ(BPF)166を介してA/D変換器154に入力され、CPU152を含んだマイクロコンピュータの所定のポートに与えられる。A/D変換器154は、分解能16bitの外付けの高精度A/Dコンバータである。

A/D変換器154の前段にアナログのバンドパスフィルタ166を入れて1kHz~10kHzの周波数を通すことで、低周波の機械振動とA/D変換の上限周波数から生ずるエリアシングを防止することができる。このフィルタ機能は、A/D変換の後段にPLD等によるデジタルフィルタに置き換えることができる。CPU演算では、このような前処理フィルタを行ってもよいが、処理速度とプログラムサイズに影響があるため、切り離している。

A/D変換された値は、既に符号付き整数なので、有限時間の波形に対して絶対値を取ることで全波整流波形が得られる。全波整流波形は有限なので、Window処理をして両端の影響を小さくしてからFFT演算を行う。CPU152を含んだマイクロコンピュータには、浮動少数点演算ユニットはないので、整数

のみで演算できる固定小数点演算を使用する。

得られた周波数分布は、強度の高い順に回転速度と転動体数とで決まる減衰波形の包絡線の周波数と比較される。このとき、外部メモリ 157, 158 に記憶された軸受諸元と回転パルスゼネレータ 164 から得られた速度の値を用いる。

圧電素子 162 は、音響／弾性波／AE 信号をとらえることができるが、ここでは、主に、剥離損傷の検出を目的として、サンプリング周波数を 100 kHz に設定されている。

温度センサ 163 が発生した電圧信号は、増幅回路（不図示）を経た後に A/D 変換器 155 に入力され、CPU 152 を含んだマイクロコンピュータの所定のポートに与えられる。A/D 変換器 155 は、分解能 10 bit の外付けの高精度 A/D コンバータである。温度センサ 163 と、回転パルスゼネレータ 164 と、は、圧電素子 162 よりも低いサンプリング周波数に設定されている。

外部メモリ 156 は RAM であり、外部メモリ 157, 158 は ROM である。また、通信用回路 159 は LAN インターフェースであり、ツイストペア、同軸ケーブル、光ファイバケーブル等を用いて LAN 回線 (Local Area Network) 167 に接続されている。無線 LAN を用いた場合は、無線にて LAN 167 に接続される。通信回路 160 はシリアル通信インターフェースであり、プログラム書き込み／診断データ送受信兼用端子 168 に接続されている。

通信用回路 160 は、軸受 21 の外輪、内輪、転動体、保持器の各々の傷周波数と一致する度合いをシリアルで送・受信するのに用いられる。近距離であれば、パラレルでもよい。通信を行う場合、セキュリティを付加するための専用の IC を介在させるのが良い。

機械設備の異常診断装置 151 は、更に、タイマカウンタ (TMUCNT) 169 と、ダイレクトメモリアクセスコントローラ (DMA) 170 と、割り込みコントローラ (INTC) 171 と、D/A 変換器 (DAC) 172 と、アクティブゲインコントローラ (AGC) 173 と、を有する。D/A 変換器 172 は、診断出力用コネクタ and/or 表示器 174 に接続されている。

タイマカウンタ 169 は、回転パルスゼネレータ 164 が発生したパルス信号数を計数処理して CPU 152 を含んだマイクロコンピュータの所定のポートに与える。

割り込みコントローラ 171 と、タイマカウンタ 169 と、は、CPU 152 を含んだマイクロコンピュータに一定のサンプリング周期で信号を取り込むのに用いられる。通常、データは、CPU 152 を含んだマイクロコンピュータを介して外部メモリ 156 に転送されるが、サンプリング周期を極めて短くするために、ダイレクトメモリアクセスコントローラ 170 によるダイレクト転送を行うようにしても良い。

診断出力用コネクタ and/or 表示器 174 は、作業者が診断ユニット 161 に近づく場合や、機械運転者のそばに診断ユニット 161 を置ける場合に、LED 表示や LCD ドライバを介した液晶画面表示を行ったり、D/A 出力を利用した音声出力等を行ったりするのに用いられる。

機械設備の異常診断装置 151 では、信号処理により行われるデジタル化されたデータの演算は、すべて CPU 152 を含んだマイクロコンピュータで行うが、処理のプログラムは、外付けされた外部メモリ 157, 158 に書き込まれている。また、機械設備の異常診断装置 151 は、軸受 21 のユニット 1 セットに対して少なくとも 1 個用いるため、外部メモリ 157, 158 に軸受 21 の諸元（各部寸法、材料、転動体数、潤滑剤、製造年月日）や、各センサ 162, 163, 164 の諸元（周波数特性、感度）も記憶させている。

また、振幅パラメータとして、RMS、Peak、クルトシス、波高率等が、所定の外部メモリ 156 のアドレスに書き込まれているので、外部から通信機能により問い合わせることができる。

機械設備の異常診断装置 151 では、音響・弾性波、超音波、機械振動、を検出する、例えば圧電素子 162 や、温度センサ 163 や、回転パルスゼネレータ 164 を軸受 21 に組付け、これらが発生する信号を増幅・デジタル化の後に、演算処理を CPU 152 を含んだマイクロコンピュータによって行い、演算結果を出力することができる診断ユニット 161 が単一のケース 161A に收容され

る。これにより、簡単な構成で軸受 2 1 の状態を、分解することなく監視でき、更に、軸受 2 1 の欠陥又は異常を検査することができる。これにより、軸受 2 1 の分解や組立てにかかる手間を軽減できるとともに、分解や組立てに伴う軸受 2 1 の損傷防止が図られる。更に、監視が精度良く、且つ、効率的に行われるため、より精度の高い診断が可能となり、目視による検査では見落とす虞がある欠陥の発見が可能となる。また、小型のセンサ、マイコン、I C、基板配線を用いることにより、診断ユニット 1 6 1 をコンパクトにすることができるため、軸受 2 1 以外に、様々な機械装置に組込みが可能で、更に、通信能力があるため、様々な機械装置に柔軟に組込むことができ、コスト面の低減や省エネルギー対策にも貢献することができる。また、診断ユニット 1 6 1 内に、各センサからの信号を増幅するだけでなく、例えば圧電素子 1 6 2 にパルス信号を送る機能を持たせることにより、超音波パルスエコー法が可能になり、静止時の機械摺動面の損傷や運転時の摺動面同士の金属接触状態を検知・診断することもできる。

また、機械設備の異常診断装置 1 5 1 では、圧電素子 1 6 2、温度センサ 1 6 3、回転パルスゼネレータ 1 6 4 により、温度、振動変位、振動速度、振動加速度、力、歪、音響、アコースティックエミッション、超音波、回転速度のうち 1 つ以上の検出が可能になるため、軸受 2 1 の状態を確実に監視することができるとともに、軸受 2 1 の欠陥又は異常を確実に検査することができる。

また、機械設備の異常診断装置 1 5 1 では、演算処理に、CPU 1 5 2 を含んだマイクロコンピュータと、増幅回路 1 5 3 と、A/D 変換回路 1 5 4、1 5 5 と、外部メモリ 1 5 6、1 5 7、1 5 8 と、通信用回路 1 5 9、1 6 0 と、タイマカウンタ 1 6 9 と、ダイレクトメモリアクセスコントローラ 1 7 0 と、割り込みコントローラ 1 7 1 と、D/A 変換器 1 7 2 と、アクティブゲインコントローラ 1 7 3 と、を用いているため、汎用の部品の組み合わせにより、カスタム化することなく、コスト面で優れたものを得ることができる。

また、機械設備の異常診断装置 1 5 1 では、標準偏差や波高率の特徴パラメータ算出、包絡線検波、FFT、フィルタ、ウェーブレット変換、短時間FFT、回転体の欠陥に起因した特徴周波数算出のうち 1 つ以上の処理と比較判定がディ

デジタル処理で得られる。それにより、監視が精度良く、且つ、効率的に行われるため、より精度の高い診断が可能となり、目視による検査では見落とす虞がある欠陥の発見が確実に可能となる。

#### <第9実施形態>

図35(a)および図35(b)は、本発明の第9実施形態に係る機械設備の異常診断装置を示したものである。

この第9実施形態の機械設備の異常診断装置181は、診断ユニット182に圧電セラミックスをバイモルフ化した衝撃センサ183をケース182Aに収容して、該衝撃センサ183と、温度センサ163と、をケース182Aに一体的に配したものであり、それ以外の構成は、第8実施形態と同様であるので、共通する構成には第8実施形態と同じ番号を付すことによって、それらに関する説明は省略する。

機械設備の異常診断装置181では、軸受21が故障した際の衝撃をとらえる。通常、軸受21の故障時には、固有の衝撃弾性波の外部メモリ158に特徴パラメータ計算式が格納されており、衝撃センサ183、アンプフィルタ部184、分解能10bitの外付けの高精度A/DコンバータであるA/D変換器155を通してデジタル化された波形信号と、回転速度によって決まる特徴パラメータ有次元であれば、振動値の平均、標準偏差(rms)、最大値、ピーク(絶対値の最大から10個の値の平均)等、無次元では、波波形、波高率、衝撃指数、スキューネス、クルトシス等の値を算出しておく。CPU152を含んだマイクロコンピュータによるFFT演算で得られた周波数領域のデータから、軸受21の欠陥検出に関する方法は第7実施形態と同様である。尚、衝撃センサ183、アンプフィルタ部184とは、周波数帯域が許せば一体化してもよい。

その他の周波数領域の特徴パラメータ交差頻度、極値頻度、不規則度、回転周波数含有度、回転周波数高調波含有度、そして軸受21の各部品の欠陥特徴周波数成分パワーの含有度等のデータが外部メモリ156に登録され、一定周期で更新される。

特徴パラメータによる軸受21の劣化診断は、ケース182A内のCPU15

2を含んだマイクロコンピュータで行ってもよいが、多数のパラメータが複雑に関係した回帰分析やニューラルネットワークを使った学習アルゴリズムで認識させる場合に、LAN回線167等でデータを別に、そのような認識プログラムを組み込んだコンピュータに送って処理することができる。或いは、認識プログラム専用のカスタムICか別のマイクロコンピュータを付加するのが好ましい。

機械設備の異常診断装置181では、診断ユニット182に、CPU152を含んだマイクロコンピュータの他、小型の電子部品と同じく小型のセンサを使って、短い配線で構成することにより、省スペースのケース182Aに収納することができる、軸受21に組み込んで検査・診断を行うことができるため、更にコンパクト化を図ることができ、検出器から演算処理器までの信号線を省略することにより、コスト面での更なる低減を図ることができる。

#### <第10実施形態>

図36は、本発明の第10実施形態に係る機械設備の異常診断装置を示したものである。

この第10実施形態の機械設備の異常診断装置191は、演算処理部に、DSP（フィルタ演算時の積和演算やデータの移動が高速で実行できるデジタル信号処理専用プロセッサ）192を組み合わせたものである。

DSP192には、デジタルフィルタやFFTといったデジタル信号処理を受け持たせ、それら以外の処理をCPU152を含んだマイクロコンピュータが行えるように、第8、第9実施形態を置き換えたものである。また同じ目的で、DSPを使わずに、PLD（プログラマブル・ロジックデバイス）で演算処理部を構成することもできる。

なお、上記実施形態において、異常の有無を診断する摺動部材は、上記の転がり軸受に限らない。具体的には、各種の転がり軸受の他、滑り軸受等も、摺動部品に該当するものである。更に、ボールねじや、リニアガイド等の直動機構の構成部品なども、本発明の診断対象の摺動部材に該当する。また、鉄道車両における歯車や車輪など、取り外しや組付けに多大な手間がかかる各種の大型の回転型摺動部材も、本発明の異常診断の対象とすることができる。

なお、上記の各実施形態では、異常診断装置による異常の検出が速やかに機械設備の保全や運転管理に繋がるように、機械設備の異常診断装置自体に、前記機械設備においてその数動部材が組み込まれている機構の動作を制御する制御器に、判定結果に応じた信号をフィードバックする制御処理部を装備した。しかし、制御処理部は、異常診断装置に接続される独立した装備（装置）としてもよい。

#### <第 1 1 実施形態>

次に、本発明の第 1 1 実施形態に係る機械設備の状態監視装置について説明する。なお、第 5 実施形態と同等の部分については同一の符号を付して、重複する説明は省略若しくは簡略する。

図 3 7 に示されるように、状態監視装置 2 3 0（図 3 8 参照。）が適用される機械設備である鉄道車両設備 2 1 0 は、被検出対象物としての回転体及び摺動部材の少なくとも一つである複列円すいころ軸受 2 1 1 と、鉄道車両用台車の一部を構成する軸受箱 2 1 2 とを備える。

複列円すいころ軸受 2 1 1 は、外周面に円すい外面状に傾斜した内輪軌道面 2 1 5，2 1 5 を有する一対の内輪 2 1 4，2 1 4 と、内周面に円すい内面状に傾斜した一対の外輪軌道面 2 1 7，2 1 7 を有する単一の外輪 2 1 6 と、内輪 2 1 4，2 1 4 の内輪軌道面 2 1 5，2 1 5 と外輪 2 1 6 の外輪軌道面 2 1 7，2 1 7 との間に複列で複数配置された転動体である円すいころ 2 1 8 と、円すいころ 2 1 8 を転動自在に保持する環状の打ち抜き保持器 2 1 9，2 1 9 と、一対のシール部材 2 2 0，2 2 0 とを備える。

軸受箱 2 1 2 は、ハウジング 2 2 1 と、ハウジング 2 2 1 の先端部に嵌着される前蓋 2 2 2 と、外輪 2 1 6 をハウジング 2 2 1 に組み付けた後、ハウジング 2 2 1 の後端部に嵌着される後蓋 2 2 3 とを備える。

複列円すいころ軸受 2 1 1 の内輪には車軸 2 2 4 が圧入されており、外輪 2 1 6 はハウジング 2 2 1 と嵌合する。複列円すいころ軸受 2 1 1 には、種々部材の重量等によるラジアル荷重と任意のアキシアル荷重とが負荷されており、外輪 2 1 6 の上方部が負荷圏になっている。ここで、負荷圏とは、転動体に対して荷重が負荷される領域を指す。



ハウジング 221 は、鉄道車両用台車の側枠を構成しており、外輪 216 の外周面を覆うように円環形状に形成されている。ハウジング 221 の外周部には、複列円すいころ軸受 211 の各列の軸方向中央部に一对の凹部 225、225 が形成されている。凹部 225、225 は、状態監視装置 230 の一部を構成する第 1 実施形態と同様な構成を有するセンサユニット 22, 22 を收容する。

次に、第 1 1 実施形態の状態監視装置 230 について説明する。状態監視装置 230 は、マイクロコンピュータによって構成される演算処理部 250 の比較判定部 252 における処理が第 5 実施形態と異なるのみで、検出処理部 20 及び制御処理部 40 の処理は第 5 実施形態の異常監視装置と同等である。即ち、状態監視装置 230 は、複列円すいころ軸受 211 の各列にそれぞれ設けられ、各列の状態を電気信号として出力するセンサユニット 22, 22 を備えた検出処理部 20, 20 と、鉄道車両設備 210 の欠陥や異常等の状態を判定するためにセンサユニット 22, 22 の出力した電気信号を演算処理する演算処理部 250, 250 と、演算処理部 250, 250 の判定結果を制御・出力する制御処理部 40 とを備える。

センサユニット 22, 22 は、軸受 211 の回転状態に応じて変化する物理量として、音 J1、温度 J2、振動 J3、回転速度 J4、ひずみ J5、A E (acoustic emission)、移動速度、力、超音波等の、機械設備から運転中に発生する情報を検出し、電気信号として演算処理部 250, 250 に出力可能な複数の検出素子であるセンサを有する。なお、演算処理部 250, 250 は電気信号を検出情報毎に適切に分配処理するので、センサユニット 22, 22 は、音、温度、振動、回転速度、ひずみ、A E、移動速度、力、超音波等の特定の信号を独立に検出する各検出素子を複数組み合わせ用いてもよく、また、複数の情報を同時に検出可能な複合センサユニットをセンサユニット 22 として用いてもよい。

また、センサユニット 22 の取り付け位置は、ラジアル荷重の負荷圏領域におけるハウジング 221 の外周部に取り付けている。このため、例えば、軸受軌道面に損傷が発生した場合、その損傷部を転動体が通過する際に生じる衝突力は非負荷圏よりも負荷圏の方が大きく、軸受負荷圏の方が感度良く異常振動を検出す

ることができる。

さらに、センサユニット 22 は、ハウジング 221 に形成された凹部 225 に取り付けられているので、センサユニット 22 の取り付け状態や周りの環境（ノイズ、水分、風圧等）の影響を受けることがないため、高 S/N 比（信号対雑音比）で高精度な信号を検出することができる。なお、センサユニット 22 は、回転体や摺動部材等に組み込まれてもよい。

また、センサユニット 22 は、防水・防油・防塵・防錆・防湿及び耐熱性・耐電磁ノイズ性の機能を付加または処理を施すことで、ノイズの影響を受けることが少なくなり好ましい。さらに、検出処理部 20, 20 にアンプ機能を内蔵することで、特別な増幅器は必要なくなり、途中のケーブル等からノイズが入り込む心配もなくなるので、さらに好ましい。

演算処理部 250, 250 は、検出処理部 20, 20 で出力された電気信号から機械設備の欠陥や異常等の状態を判定するために演算処理を行うもので、マイクロコンピュータによって実行される。マイクロコンピュータは、CPU、MPU、DSP 等が搭載された IC チップ、メモリ等から構成される。

演算処理部 250, 250 は、図 39 に示されるように、データ蓄積分配部 31、温度分析部 32、回転分析部 33、フィルタ処理部 34、振動分析部 35、比較判定部 252、内部データ保存部 37 を備えており、比較判定部 252 以外は、第 1 実施形態のものと同等の機能を有する。

データ蓄積分配部 31 は、各検出素子から送られた電気信号を受け取り一時的に蓄積すると共に、信号の種類に応じて各分析部 32, 33, 35 の何れかに信号を振り分ける収集および分配機能を有している。各種信号は、データ蓄積分配部 31 に送られる以前に、図示しない A/D コンバータによりデジタル信号に A/D 変換され、図示しない増幅器によって増幅された後にデータ蓄積分配部 31 に送られる。なお、A/D 変換と増幅は、順序が逆であっても構わない。

温度分析部 32 は、温度情報 J2 を検出する検出素子からの出力信号を基に、軸受 211 の温度を算出し、算出した温度を比較判定部 252 に送信する。分析部 32 は、例えば検出素子の特性に応じた温度換算テーブルを有しており、検出

信号のレベルを基に、温度データを算出する。

回転分析部 33 は、回転速度情報 J4 を検出する検出素子からの出力信号を基に、内輪 214、即ち車軸 224 の回転速度を算出し、算出した回転速度を比較判定部 252 に送信する。なお、上記検出素子が、内輪 214 に取り付けられたエンコーダと外輪 216 に取り付けられた磁石及び磁気検出素子で構成されている場合には、検出素子が出力する信号は、エンコーダの形状と回転速度に応じたパルス信号となる。回転分析部 33 は、エンコーダの形状に応じた所定の変換関数又は変換テーブルを有しており、関数またはテーブルに従って、パルス信号から内輪 214 及び車軸 224 の回転速度を算出する。

振動分析部 35 は、振動情報 J3 を検出する検出素子からの出力信号を基に、軸受 211 に発生している振動の周波数分析を行う。具体的には、振動分析部 35 は、振動信号の周波数スペクトルを算出する FFT 計算部であり、FFT のアルゴリズムに基づいて、振動の周波数スペクトルを算出する。算出された周波数スペクトルは、比較判定部 252 に送信される。また、振動分析部 35 は、FFT を行う前処理として、絶対値処理やエンベロープ処理を行い、診断に必要な周波数成分のみに変換してもよい。振動分析部 35 は、必要に応じて、エンベロープ処理後のエンベロープデータも併せて比較判定部 252 に出力する。

一般に、軸受の回転に起因して生じる振動の異常周波数帯は、軸受の大きさ、回転体の数等に依存して決まっている。軸受の各部材の欠陥と、各部材で発生する異常振動周波数の関係は、図 4 に示すとおりである。周波数分析においては、サンプリング時間に応じて、フーリエ変換可能な最大の周波数（ナイキスト周波数）が決まるため、ナイキスト周波数以上の周波数は、振動信号中に含まれていないことが好ましい。そのため、本実施形態では、データ蓄積分配部 31 と振動分析部 35 との間にフィルタ処理部 34 を設け、フィルタ処理部 34 にて所定の周波数を切り出し、切り出された周波数帯のみを含む振動信号を振動分析部 35 に送信するように構成している。鉄道車両において、低速で車軸が回転している場合には、例えば、1 kHz 以下の周波数成分のみを抽出するように構成すればよい。

なお、図 3 9 では、温度分析部 3 2、回転分析部 3 3、振動分析部 3 5 が示されているが、分析部は、センサユニット 2 2 の各検出素子によって検出される情報に応じて設ければよい。

比較判定部 2 5 2 は、温度分析部 3 2、回転分析部 3 3、振動分析部 3 5 によって分析された結果と、軸受の異常の有無の診断基準となる情報とを第一の時間  $t_1$  毎に比較照合し、軸受の異常の有無を仮診断する。また、比較判定部 2 5 2 は、第 1 の時間  $t_1$  毎に比較照合した仮診断結果を内部データ保存部 3 7 に送信して保存する。

さらに、比較判定部 2 5 2 が上記比較照合を所定の回数行った時、若しくは、第 1 の時間  $t_1$  より長い第 2 の時間  $t_2$  経過すると、内部データ保存部 3 7 に保存された仮診断結果を基に、異常と仮診断した回数が閾値以上である場合に異常とみなす総合評価をして、軸受の異常の有無とその異常部位を診断する。なお、総合評価は、異常と仮診断した回数により異常の程度を判別し、異常の有無とその部位を診断するように構成してもよい。

具体的に、比較判定部 2 5 2 は、振動分析部 3 5 が求めた振動の周波数スペクトルと、内部データ保存部 3 7 に保存されている基準値とを第一の時間  $t_1$  毎に比較照合し、異常振動が発生しているかどうか仮診断する。ここで、基準値は、機械設備の作動信号である周期信号の回転速度信号に基づき算出した軸受の特定部位の磨耗や破損に起因した周波数成分のデータ値である。

比較判定部 2 5 2 が行う振動情報を基にした仮診断の処理方法としては、上述した (1) ~ (3) 及び (5) ~ (6) に示す方法のいずれかを用いても処理すればよい。

比較判定部 5 6 は、(1) ~ (3) 及び (5) ~ (6) の手法を用いて第 1 の時間  $t_1$  毎に比較照合して、異常の有無を仮診断した結果を内部データ保存部 3 7 に送信して保存する。また、比較判定部 2 5 2 で上記比較照合を所定の回数を行った時、若しくは、第 1 の時間  $t_1$  より長い第 2 の時間  $t_2$  経過すると、内部データ保存部 3 7 に保存された仮診断結果を基に、異常と仮診断した回数が閾値以上である場合に異常とみなす総合評価をして、異常の有無とその異常部位を診断す

る。

なお、各検出対象における比較判定部 5 6 の結果は、メモリやHDD等の記憶媒体に保存されてもよいし、結果を制御処理部 6 0 に送信されてもよい。

制御処理部 4 0 は、演算処理部 2 5 0、2 5 0 の分析結果や判定結果を所定の表示形態で表示する表示手段としての結果出力部 4 2 と、軸受 2 1 1 が組み込まれている車両の駆動機構の動作を制御する制御系に比較判定部 2 5 2 の判定結果に応じた制御信号をフィードバックする制御器 4 1 を備えている。

結果出力部 4 2 は、具体的には、モニターや画像表示やプリンタへ印刷出力によって、演算処理部 2 5 0 の分析結果や判定結果を通知する他、演算処理部 2 5 0 の判定結果が異常有りの場合には、ライトやブザー等の警報装置による通知を行う。

制御器 4 1 は、例えば、演算処理部 2 5 0 の判定結果が異常有りの場合に、異常の程度に応じて、車両の走行停止や、速度の減速等を示す制御信号を車両の走行制御器に送る。本実施形態では、複数のセンサユニット 2 2 は、軸受装置の軸受の状態を連続で測定し、演算処理部 2 5 0 は、測定されたデータに基づき順次異常診断するようにしている。従って、制御処理部 4 0 は、異常が発生したら即座に異常を通知し、車両の制御を行う。即ち、検出、分析、判定及び結果出力の流れがリアルタイムに行なわれている。

なお、検出処理部 2 0、演算処理部 2 5 0、制御処理部 4 0 間での信号の伝達は、的確に信号を送受信可能であればよく、有線でもよいし、ネットワークを考慮した無線を利用しても良い。

次に、本実施形態の状態監視方法の診断処理について図 4 0 を参照して説明する。

まず、マイクロコンピュータ内のカウンタを  $n = 0$  に初期化して（ステップ S 6 0 1）、診断を開始する。検出処理部 2 0 のセンサにより検出された鉄道車両設備 2 1 0 から発生する音・振動等の信号がマイクロコンピュータに入力される（ステップ S 6 0 2）。鉄道車両設備 2 1 0 から発生する信号は A/D 変換器によってデジタル信号に変換され（ステップ S 6 0 3）、デジタル信号は増幅器によって増

幅処理される（ステップS 6 0 4）。増幅処理を行った後、カウンタの値は  $n = n + 1$  とする（ステップS 6 0 5）。その後、フィルタ処理部 3 4 にて、増幅されたデジタル信号にフィルタ処理を行い（ステップS 6 0 6）、ノイズ成分の除去または特定の周波数成分を抽出する。

次いで、フィルタ処理後のデジタル信号は、振動分析部 3 5 に送られ、エンベロープ処理、周波数分析等の解析処理を行い（ステップS 6 0 7, S 6 0 8）、鉄道車両設備 2 1 0 から検出した信号を具現した実測データに基づく周波数成分を得る。一方、鉄道車両設備 2 1 0 の回転速度信号を検出処理部 2 0 のセンサにて検出し（ステップS 6 0 9）、回転速度信号に基づいて基準値となる鉄道車両設備 2 1 0 の損傷に起因した理論周波数成分を算出する（ステップS 6 1 0）。実測データに基づく周波数成分は、上記の（１）～（３）及び（５）～（６）のいずれかの手法に基づいて、ステップS 6 1 0 で算出された理論周波数成分と比較判定部 2 5 2 にて第一の時間  $t_1$  毎に比較照合され（ステップS 6 1 1）、鉄道車両設備の特定部位に対する異常の有無の仮診断を行う。その結果は、各カウンタ値  $n$  と共に内部データ保存部 3 7 に保存される（ステップS 6 1 2）。

その後、カウンタ値  $n$  を所定回数  $N$  と比較し（ステップS 6 1 3）、カウンタ値  $n$  が所定回数  $N$  より小さい場合には、ステップS 6 0 2 に戻って、ステップS 6 0 2 ～S 6 1 2 までの処理を繰り返す。カウンタ値  $n$  が所定回数  $N$  以上となった時、 $N$  個の保存された結果を用いて、仮診断において異常と判定した回数が閾値以上である場合に異常とみなす評価（総合評価と呼ぶ）を行い、鉄道車両設備 2 1 0 の異常の有無とその部位を診断する（ステップS 6 1 4）。そして、この診断結果を保存あるいは、制御処理部 4 0 へ送り、診断結果を表示したり（ステップS 6 1 5）、制御部 4 1 にてフィードバック制御を行い、診断を終了する。

したがって、本実施形態の状態監視方法では、複数の比較照合結果を用いて異常の有無及びその部位を診断する総合評価としたので、突発的なノイズ等が診断に及ぼす影響を小さくすることができるため、精度の良い監視を効率的に行うことができる。

なお、本実施形態では、周波数成分を第 1 の時間  $t_1$  毎に比較照合しているの

で、総合評価するタイミングは、任意の所定回数 $N$ の代わりに、第1の時間 $t_1$ より長い任意の第2の時間 $t_2$ を用いて評価しても良い。

また、本実施形態の状態監視方法で行われる増幅処理やフィルタ処理は任意であり、必要に応じて行われる。

さらに、本実施形態の変形例として、図40のステップS114では、異常と仮診断した回数と閾値とを比較して異常の有無及びその部位を判定する総合評価としたが、代わりに異常と仮診断した回数により損傷の程度を判別するような総合評価として状態監視を行うことができる。これにより、直ちに停止させることができない機械設備等において計画的な保守が可能となる。

本実施形態では、鉄道車両設備における複列円すいころ軸受について状態監視が行われたが、工作機械や風車等その他の機械設備にも適用可能である。

また、回転体や摺動部材として転がり軸受である複列円すいころ軸受が用いられたが、転がり軸受の他にボールねじ、リニアガイド、リニアボールベアリング等にも状態監視方法および装置を適用することができる。この場合、比較照合のための基準値算出に用いられる機械設備の作動信号は、回転体である転がり軸受やボールねじ等の場合には回転速度信号が用いられ、摺動部材であるリニアガイドやリニアボールベアリング等の場合には移動速度が用いられる。

さらに、状態監視方法及び装置の異常の有無は、少なくとも音、温度、振動、回転速度、ひずみ、AE、移動速度から選択される少なくとも一つの検出素子を含む検出器があれば解析可能であるが、音、振動、AEを検出する検出素子を少なくとも一つ用いて解析することが好ましい。また、振動情報を用いて解析することは、過去の異常データベースを利用できる点で望ましい。ただし、微小クラック発生の初期段階で異常を検出したい場合や、内部欠陥を検出するには、振動情報の代わりにAE情報を用いる方が適切である。温度情報は、振動情報やAE情報と組み合わせて異常診断に用いるほうが、単独で用いる場合より効果が大きい。

## <第12実施形態>

次に、本発明の第12実施形態に係る機械設備の異常診断装置について説明す

る。なお、第1実施形態と同等の部分については同一の符号を付して、重複する説明は省略若しくは簡略する。

図41は、本発明の第12実施形態の異常診断装置310が適用される機械設備である鉄道車両用軸受装置の軸受箱301を示す図である。軸受箱301は、鉄道車両の車軸の端部を覆うように取り付けられており、内部に組み込まれた軸受（図41には不図示）を介して鉄道車両の車軸を回転自在に保持している。また軸受箱301では、鉄道車両の車軸の端部を覆うカバー302がハウジング303に取り付けられている。

軸受箱301は、ハウジング303を介して、四隅に設けられた四つのボルト304によって固定されている。また、ハウジング303の側面には、軸受の温度を測定するための孔が設けられており、この孔は、ボルト305によって塞がれている。本実施形態では、このボルト304またはボルト305の端面に前述した検出処理部20のセンサユニット22を取り付け、このセンサユニット22内の各検出素子によって軸受箱内部の軸受から発生する信号を検出するものである。

図42は、本実施形態のセンサユニット22を用いた異常診断装置310の全体構成を示す図である。図42に示すように、軸受箱301の内部には、転がり軸受306が組み込まれている。転がり軸受306は、ハウジング303に内嵌する外輪307と鉄道車両の車軸に外嵌する内輪308との間に複数の玉又はころからなる転動体309を配置したものである。これにより軸受箱301は、転がり軸受306を介して鉄道車両の車軸を回転自在に軸支している。

図42に示すように、ハウジング303表面に取り付けられたボルト304、305の端面には、センサユニット22が取り付けられている。センサユニット22は、軸受箱固定用のボルト304の端面に設ければよいが、上述したように温度検出用の孔を塞ぐボルト305の端面に設けるように構成しても構わない。一般に、このボルト305は、内部に装着される転がり軸受6毎に与えられており、例えば、複列の軸受の場合には、車輪側の列、モータ側の列、その中間など目的によって取り付け場所を選択することが可能であるが、取付の簡便性を考慮



すると車輪側にボルト 305 を取り付け、そのボルト 305 の端面にセンサユニット 22 を設けるように構成することが好ましい。また、センサユニット 22 は、ボルト 305 の端面ではなく、このボルト 305 が塞いでいる孔の側面または内部に取り付けられるように構成してもよい。

センサユニット 22 とボルト 304, 305 との取付けは、ガタつきや緩みなどが無く固定されることが好ましい。具体的には、ねじ止め、接着、磁石、嵌合、モールドによるボルトとの一体化等の方法の中から、運転条件、取り付け条件、センサの特性等を考慮して適宜好ましい取り付け方法を選択して取付を行えばよい。

また、センサユニット 22 の取り付け場所が、ノイズが多い領域である場合には、センサユニット 22 を周囲から絶縁するように取り付けることが好ましい。センサを周囲から絶縁することにより、ノイズを低減させ、S/N比の向上を図ることが可能となる。

さらに、高いS/N比で検出を行うためには、第1実施形態同様、センサユニット 22 を図5のA1で示された転がり軸受 306 の負荷圏に取り付けることが好ましい。負荷がかかっている部位（負荷圏）にセンサユニット 22 を取り付けると、感度よく信号を検出でき、より精度の高い測定が行える。

また、負荷圏にセンサを取り付けるスペースがない時やノイズを発生する高電圧ケーブルが配設されている時など止むを得ず非負荷圏に取り付ける場合は、フィルタ処理を行い、信号の検出感度を上げるようにすることが好ましい。

なお、センサユニット 22 は、第1実施形態で用いられたものと同等の構成・機能を有する。また、図42に示される演算処理部 30、制御処理部 40 も、第1実施形態で用いたものと同等の構成・機能を有している。

以上、本実施形態の異常診断装置 310 によれば、鉄道車両の回転体である転がり軸受 306 を支持する軸受箱 301 のハウジング 303 上にねじ止めされているボルト 304, 305 の端面に固定され、転がり軸受 306 から発生する信号を電気信号として出力する検出素子を有するセンサユニット 22 からなる検出処理部 20 と、センサユニット 22 の出力を基に軸受装置の異常診断を行う演算

処理部 30 と、演算処理部 30 の判定結果に基づき鉄道車両の制御系に制御信号をフィードバックする制御処理部 40 と、を備えている。

具体的に、演算処理部 30 は、第 1 実施形態同様、検出処理部 20 からの電気信号を蓄積し、前記信号の種類によって適切な分配ルートに分配するデータ蓄積分配部 31 と、データ蓄積分配部 31 から分配された電気信号を基に、機械装置である鉄道車両に関する所定の物理量を算出する各分析部 32, 33, 35 と、機械装置に関する機械装置データが保存された第 1 データ保存部である内部データ保存部 37 と、各分析部が算出した前記物理量と、前記内部データ保存部に保存された前記機械装置データとを比較し、前記機械装置の異常診断を行う比較判定部 36 と、前記分析部の分析結果および前記比較判定部による前記異常診断の結果を保存する第 2 データ保存部であるデータ蓄積出力部 38 とを有している。

この異常診断装置 310 によれば、センサユニット 22 を用いて転がり軸受 306 に関する物理情報を収集し、この物理情報を基に転がり軸受 306 の異常を診断し、制御を行うため、軸受箱 301 を分解することなく、転がり軸受 306 の欠陥を検出することが可能である。これにより、軸受箱 301 の分解や組立にかかる手間を軽減すること、及び分解後の組立に伴う転がり軸受 306 および軸受箱 301 の損傷防止を図ることができる。また、本実施形態では、異常診断装置 310 により、所定の基準に基づいて診断が行われるため、目視による検査では見落とす可能性のある欠陥をも発見が可能となる。

また、本実施形態によれば、センサユニット 22 がボルト 304, 305 上に固定されるため、センサユニット 22 の取り付け用の平滑面を軸受箱 301 上に特に設ける必要がない。したがって、軸受箱 301 に何ら改良を加えることなく、センサユニット 22 を取り付けることが可能となる。したがって、手間やコストをかけることなく異常診断装置 310 のセンサユニット 22 を軸受箱 301 に組み込み、異常診断を行うことが可能である。

なお、本実施形態では、鉄道車両の軸受箱内部の転がり軸受を例に説明したが、これに限られることはなく、鉄道車両の他の回転部品（歯車、車輪自体）や、風車、減速機、電動機、ボールねじ、リニアガイド等に適用することも可能である。

また、演算処理部 30 は、第 11 実施形態のマイクロコンピュータ 250 によって行われる演算処理部の機能を備えていてもよい。

また、図 43 に示されるように、本実施形態の異常診断装置 310 の演算処理部 30 は、第 5 ～ 第 10 実施形態に示された 1 チップ又は 1 ボードのマイクロコンピュータ 81 によって構成されてもよく、IC チップで構成されてもよい。さらに、制御処理部 40 も 1 チップ又は 1 ボードのマイクロコンピュータまたは IC チップで構成するようにしてもよい。また、演算処理部 30 と制御処理部 40 の機能を一つにしたマイクロコンピュータを車両等の機械装置に搭載するように構成してもよい。

また、図 44 に示すように、制御処理部 40 を車両から降ろして地上に配置し、車両に設けた送受信機 370 と線路の沿線に設けた送受信機 380 との間で無線通信を行うように構成してもよい。この場合には、制御処理部 40 に相当する機能は、例えば、地上に設けられた情報処理センタに設置することができる。この情報処理センタには、例えば、複数の車両に設けられたマイクロコンピュータ 81 からそれぞれ情報を受け取り、複数の車両を集中的に一括管理するように構成することが可能である。この場合には、各車両から送られるデータに ID 番号等を付加し、各車両の情報を識別するように構成することができる。また同様に、センサユニット 22 とマイクロコンピュータ 81 との間を無線通信で行うように構成してもよい。

したがって、検出処理部 20 と演算処理部 30、または演算処理部 30 と制御処理部 40 間の信号伝達をワイヤレスで行うことができる。

### < 第 13 実施形態 >

次に、本発明の第 13 実施形態に係る軸受装置について説明する。図 45 に示すように、本発明の第 13 実施形態の軸受装置 410 は、複列円すいころ軸受 411 と、鉄道車両用台車の一部を構成する軸受箱 412 と、異常検出手段 413 と、から構成されている。

複列円すいころ軸受 411 は、外周面に円錐外面状に傾斜した内輪軌道面 415、415 を有する一対の内輪 414、414 と、内周面に円錐内面状に傾斜し

た一对の外輪軌道面 4 1 7, 4 1 7 を有する単一の外輪 4 1 6 と、内輪 4 1 4, 4 1 4 の内輪軌道面 4 1 5, 4 1 5 と外輪 4 1 6 の外輪軌道面 4 1 7, 4 1 7 との間に複列で複数配置された転動体である円すいころ 4 1 8 と、円すいころ 4 1 8 を転動自在に保持する環状の打ち抜き保持器 4 1 9, 4 1 9 と、一对のシール部材 4 2 0, 4 2 0 と、から構成されている。

この複列円すいころ軸受 4 1 1 には、種々部材の重量等によるラジアル荷重と任意のアキシアル荷重とが負荷されており、外輪 4 1 6 の上方部が軸受負荷圈になっている。

軸受箱 4 1 2 は、車軸エンド部材 4 2 1 と、ハウジング 4 2 2 と、カバー 4 2 3 と、シュラウド 4 2 4 と、から構成されている。

内輪 4 1 4, 4 1 4 の間には、内輪間座 4 2 5 が配されている。また、内輪 4 1 4, 4 1 4 の軸方向両外側には、内輪間座 4 2 6, 4 2 6 が配されている。内輪 4 1 4, 4 1 4、内輪間座 4 2 5, 4 2 6, 4 2 6 には、車軸 4 0 1 が内嵌されている。内輪 4 1 4, 4 1 4 の内輪軌道面 4 1 5, 4 1 5 は、円すいころ 4 1 8 のアキシアル方向の移動を規制する。

外輪 4 1 6 の外輪軌道面 4 1 7, 4 1 7 と、内輪 4 1 4, 4 1 4 の内輪軌道面 4 1 5, 4 1 5 と、円すいころ 4 1 8 とは、それぞれの円錐面の延長上の頂点が軸線上の 1 点に集まるように設定されている。

シール部材 4 2 0, 4 2 0 のうち車軸 4 0 1 の先端部側に配された一方のシール部材 4 2 0 は、外輪 4 1 6 の外側端部と車軸エンド部材 4 2 1 との間に組み付けられている。

車軸 4 0 1 の反先端部側に配された他方のシール部材 4 2 0 は、外輪 4 1 6 の外側端部とシュラウド 4 2 4 との間に組み付けられている。

車軸エンド部材 4 2 1 は、車軸 4 0 1 の先端部に配された内輪間座 4 2 6 を覆うように、車軸 4 0 1 の先端部にボルト 4 0 1 a をねじ込むことによって固定されている。車軸エンド部材 4 2 1 は、車軸 4 0 1 とともに回転する。

ハウジング 4 2 2 は、鉄道車両用台車の側枠を構成しており、外輪 4 1 6 の外周面を覆うように円環形状に形成されており、内周面に突設された一对の突壁 4

2 2 a, 4 2 2 a が外輪 4 1 6 の両側端部に嵌合されている。そして、ハウジング 4 2 2 の外周面における複列円すいころ軸受 4 1 1 の軸方向中央部に異常検出手段収納用の凹部 4 2 2 b が形成されており、凹部 4 2 2 b の底部に平坦面 4 2 2 c が形成されている。

カバー 4 2 3 は、ハウジング 4 2 2 の先端部に嵌着されている。シュラウド 4 2 4 は、車軸 4 0 1 の反先端部側において他方側のシール部材 4 2 0 を覆うようにしてハウジング 4 2 2 の端部と車軸 4 0 1 との間に組み付けられている。

異常検出手段 4 1 3 は、温度センサ 4 2 7 と振動センサ 4 2 8 とが一体に設けられた複合型センサである。温度センサ 4 2 7 は、サーミスタ温度測定素子や白金測温抵抗体や熱電対等の非接触タイプの温度測定素子である。振動センサ 4 2 8 は、圧電素子等の振動測定素子である。

また、異常検出手段 4 1 3 は、温度センサ 4 2 7 と振動センサ 4 2 8 とが軸受軸方向に並べられてハウジング 4 2 2 の凹部 4 2 2 b 内に樹脂モールドされることにより、温度センサ 4 2 7 及び振動センサ 4 2 8 がケース 4 2 9 内に一体成形されてハウジング 4 2 2 及び複列円すいころ軸受 4 1 1 における軸受幅中央部において負荷圏内に取付けられている。樹脂モールドに用いられるモールド剤は、防水性、耐熱性、絶縁性に富む材料である。

温度センサ 4 2 7 は、ハウジング 4 2 2 を介して複列円すいころ軸受 4 1 1 の温度を検出して温度データ信号（電圧信号）を発生する。温度センサ 4 2 7 が発生した温度データ信号は、ケース 4 2 9 内に配された信号搬送手段 4 3 0 を介して外部の制御部に転送され、複列円すいころ軸受 4 1 1 の焼付き異常を検出するのに用いられる。ここで、温度センサ 4 2 7 としては、雰囲気温度が規定値を超えると、バイメタルの接点が離れたり、接点が熔断したりすることで導通しなくなる温度ヒューズを用いても良い。その場合、装置の温度が規定値を超えたとき、温度ヒューズの導通が遮断されることによって温度異常が検出される。

振動センサ 4 2 8 は、ハウジング 4 2 2 を介して複列円すいころ軸受 4 1 1 の振動を検出して振動データ信号（電圧信号）を発生する。振動センサ 4 2 8 が発生した振動データ信号は、ケース 4 2 9 内に配された信号搬送手段 4 3 0 を介し

て外部の制御部に転送され、複列円すいころ軸受 4 1 1 の内外輪軌道面 4 1 5, 4 1 5, 4 1 7, 4 1 7 の剥離、歯車の欠損、車輪のフラット摩耗を検出するのに用いられる。ここで、振動センサ 4 2 8 としては、加速度或いは速度または変位型等、振動を電気信号に変換できるものであれば良い。そして、ノイズ等の外乱が多い装置に取付けるときには、絶縁タイプを使用することにより、そのノイズの影響を受けないようにすることが望ましい。

温度センサ 4 2 7 及び振動センサ 4 2 8 は、モールド成形されたケース 4 2 9 内に配されるため、雨水の浸入を確実に防止される。また、回転中に温度及び振動を検出することができるため、回転部品が組み込まれている装置を分解することなく複数の部品の欠陥を同時的に検査することができる。そして、ハウジング 4 2 2 の外側に固定する場合と比べて、外部からの加振に対する防振性が向上するため、センシング性能の信頼性を飛躍的に向上することができる。また、各センサを別々にねじ固定した場合に比べて、取り付け状態やノイズ、雨水、風圧等の周囲の環境の影響を受けることがないので、高 S N 比（信号対雑音比）で高精度な信号を発生することができる。

図 4 6 に示すように、異常検出手段 4 1 3 における信号処理の第 1 の方法において、温度センサ 4 2 7 が発生した温度データ信号及び振動センサ 4 2 8 が発生した振動データ信号は、信号搬送手段 4 3 0 を介してコンパレータ 4 3 1 に入力される。コンパレータ 4 3 1 では、温度センサ 4 2 7 から与えられた温度データ信号値と閾値設定部 4 3 2 に保存されている予め設定された温度閾値とが比較される。同時に振動センサ 4 2 8 から与えられた振動データ信号値と閾値設定部 4 3 2 に保存されている振動閾値とが比較される。つまり、温度センサ 4 2 7 及び振動センサ 4 2 8 のうちから選択される少なくとも 1 個の異常が異常検出手段 4 1 3 により検出される。このとき、温度データ信号値が温度閾値を超えた場合、異常判定部 4 3 3 において温度異常判定信号が出力され、判定結果出力部 4 3 4 において温度異常のアラームが出力される。

また、振動データ信号値が振動閾値を超えた場合、異常判定部 4 3 3 において振動異常判定信号が出力され、判定結果出力部 4 3 4 において振動異常のアラーム

ムが出力される。アラームは有線や無線で転送されて作動する。このとき、閾値設定部 4 3 2 に保存される温度閾値及び振動閾値、異常判定部 4 3 3 において出力される温度・振動異常判定信号は、任意の時間内における実効値やピーク値を用いても良い。

図 4 7 に示すように、異常検出手段 4 1 3 における信号処理の第 2 の方法において、振動センサ 4 2 8 が発生した振動データ信号は、増幅後に、フィルタ部 4 3 5 において任意の周波数帯域のみを抽出することにより不要な周波数帯域を除去されてエンベロープ処理部 4 3 6 に入力される。エンベロープ処理部 4 3 6 では、波形の絶対値を検波する絶対値検波処理が行われ、その後に周波数分析部 4 3 7 において周波数の分析処理が行なわれ、実測値データが比較照合部 4 3 8 へ転送される。

一方、回転速度情報 4 3 9 に基づき理論周波数計算部 4 4 0 において、軸受、歯車、車輪の偏摩耗等の異常に起因したものとして設定された周波数成分の計算値データが比較照合部 4 3 8 に転送される。そして、比較照合部 4 3 8 において実測値データと計算値データとが比較照合されることにより、振動異常の有無、異常部位の特定が行なわれ、結果出力部 4 4 1 において、振動異常の有無、特定部位の出力が行なわれる。結果出力部 4 4 1 への情報転送は、有線や無線で行なわれる。

信号処理の第 2 の方法では、例えば、電動機等から検出した回転速度情報と回転要素部品の設計諸元に基づけば、周波数成分の計算と比較照合を容易に行うことができる。また、増幅後の振動データ信号の処理は、各種データ処理と演算と行なうもので、例えば、コンピュータ或いは専用マイクロチップ等によっても構成が可能である。さらに、検出したデータ信号をメモリ等の保存手段に格納後に、演算処理を行なうようにしても良い。

また、機械によっては軸受の交換に手間を要するため、機械を直ちに停止させることができないことがある。この場合、損傷の程度により軸受の交換を行なうこともある。その場合の判定基準として、予め定めておいた基準値に対して、例えば、振動の実効値、最大値、波高率を用いても良い。

また、図 4 7 に示す比較照合部 4 3 8 における振動情報を基にした異常診断の処理方法としては、上述した (1) ~ (6) に示された方法を用いても良い。

第 1 3 実施形態の軸受装置 4 1 0 によれば、軸受箱 4 1 2 の負荷圈内、具体的には、外輪 4 1 6 の外周面を覆う軸受箱 4 1 2 のハウジング 4 2 2 に形成された凹部 4 2 2 b 内に樹脂モールドされることにより、温度センサ 4 2 7 及び振動センサ 4 2 8 が単一のケース 4 2 9 内に一体成形され、温度センサ 4 2 7 及び振動センサ 4 2 8 のうちから選択される少なくとも 1 個の異常を異常検出手段 4 1 3 により検出することによって、回転部品の回転状態に伴う振動または温度情報が同時に検出されるので、回転部品が組み込まれている装置を分解することなく、実稼動状態のままで複数の部品の欠陥を同時に検査することができる。

即ち、異常検出手段は、軸受箱における負荷圈内に設けられればよく、また、軸受箱における負荷圈側外周面の一部に設けられた平坦部に固定されていることが好ましい。本実施形態のように、異常検出手段が軸受箱に形成された凹部に埋設固定されている際には、異常検出手段と凹部との隙間をモールドして取り付けられていることが好ましい。また、異常検出手段は、軸受箱の負荷圈外径部であって、軸受幅中央部に配されてもよい。

さらに、本実施形態では、異常検出手段のケースは、検出した信号を送出するための信号搬送手段を有し、信号搬送手段を介して送出された信号に基づき異常の有無を判定し出力する判定結果出力部を有している。

また、振動情報に基づく検査においては、振動センサからの振動波形内の不要な周波数帯域を除去するフィルタ処理部と、前記フィルタ処理部から転送されたフィルタ後の波形の絶対値を検波するエンベロープ処理部と、前記エンベロープ処理部から転送された波形の周波数を分析する周波数分析部と、回転速度に基づき算出した損傷に起因した周波数と実測データに基づく周波数とを比較する比較照合部と、前記比較照合部での比較結果に基づき、異常の有無、異常部位の特定をする結果出力部を備えることで実行される。

したがって、軸受装置 4 1 0 は分解されずに通常の使用状態のままで異常判定をすることが可能である。これにより、手間のかかる分解・組み立て直し作業の



頻度を減少させて保守・管理コストを大幅に減少させることができる。また、従来の目視による検査と比べて、検査担当者の熟練度や個人差によって判定にバラ付きを生ずることがなく、異常の有無の診断における信頼性を飛躍的に向上させることができる。

#### <第14実施形態>

次に、本発明の第14実施形態の軸受装置を図48に基づいて説明する。なお、第13実施形態と同等の部分については同一の符号を付して、重複する説明は省略若しくは簡略する。

図48に示すように、本実施形態の軸受装置450は、温度センサ427及び振動センサ428がケース429内に一体成形された異常検出手段413を、間座451を介してハウジング422の外周面に形成された凹部422bに固定したものである。

間座451は、ハウジング422と温度特性及び固有振動特性が同等の金属製であって、ハウジング422の外周部に配されるフランジ452にねじ453、453を挿通し、ハウジング422にねじ込むことによって固定されている。

この場合、異常検出手段413は、間座451とともにハウジング422から脱着可能であるため、温度センサ427や振動センサ428を交換する必要がある際に、ねじ453、453を取り外すだけで、多くの時間をかけることなく交換作業を行なうことができる。第14実施形態の軸受装置450においても、第1実施形態と同様の信号処理が行われる。

#### <第15実施形態>

次に、本発明の第15実施形態の軸受装置を図5に基づいて説明する。なお、第13実施形態と同等の部分については同一の符号を付して、重複する説明は省略若しくは簡略する。

図49に示すように、本実施形態の軸受装置460は、ハウジング422の外周面において複列円すいころ軸受411の内輪軌道面415、415の幅領域中央部に対応した位置に異常検出手段収納用の一對の凹部422d、422dが形成されており、凹部422d、422dに、温度センサ427及び振動センサ4

28がケース429内に一体成形された第1, 第2異常検出手段461, 462を樹脂モールドしたものである。

凹部422d, 422dは、外輪軌道面417, 417の幅領域中央部にも対応して配されている。

この場合、第1, 第2異常検出手段461, 462は、円すいころ418と内外輪軌道面415, 415, 417, 417とが転がり接触する位置に接近しているため、検出感度がより良好になり、異常が生じた時における異常信号発生までの時間を短縮することができる。第15実施形態の軸受装置460においても、第13実施形態と同様の信号処理が行われる。

なお、温度センサ及び振動センサを一体成形した異常検出手段をハウジングの外周面上の負荷圏に直接取付けても良く、その場合、ハウジングの外周面の一部に平坦部を形成し、その平坦部に取付けるのが良い。そして、各実施形態と同様に信号処理を行うのが好ましい。また、本実施形態のように、異常検出手段は、軸受箱の負荷圏外径部であって、内輪軌道面または外輪軌道面の幅領域内に配されてもよい。

また、軸受装置に用いられる軸受として、円筒ころ軸受と単列ラジアル玉軸受との組合せや円筒ころ軸受或いは円すいころ軸受又は自動調心ころ軸受に適用しても良い。

なお、本発明に係る機械設備の状態監視方法及び装置ならびに異常診断装置は、上述した実施形態に限定されるものではなく、適宜な変形、改良等が可能である。また、本発明は、実施可能な範囲において、各実施形態を組合わせて使用することが可能である。なお、本発明の機械設備は、鉄道車両設備、工作機械、風車、減速機、電動機等を含み、回転体又は摺動部材を少なくとも一つ含む機械装置であれば任意である。また、本発明の回転体又は摺動部材は、転がり軸受、すべり軸受、ボールねじ、リニアガイド、リニアボールベアリング、その他の回転部品（歯車、車輪自体）等を含む。

本発明を詳細にまた特定の実施態様を参照して説明したが、本発明の精神と範囲を逸脱することなく様々な変更や修正を加えることができることは当業者にと

って明らかである。

本出願は、2002 年 8 月 30 日出願の日本特許出願（特願 2002-252877）、  
2002 年 11 月 21 日出願の日本特許出願（特願 2002-338423）、  
2002 年 12 月 20 日出願の日本特許出願（特願 2002-370800）、  
2003 年 1 月 17 日出願の日本特許出願（特願 2003-010131）、  
2003 年 2 月 25 日出願の日本特許出願（特願 2003-048309）、  
2003 年 6 月 26 日出願の日本特許出願（特願 2003-182996）、  
2003 年 8 月 28 日出願の日本特許出願（特願 2003-304700）、に基づくものであり、  
その内容はここに参照として取り込まれる。

#### <産業上の利用可能性>

鉄道車両設備や工作機械や風車等の機械設備のように分解するのに手間が掛かるような装置を分解することなく通常の使用状態のまま異常の有無を判定することにより、保守・管理コストを低減させることができ、且つ、ノイズ等の影響を受けにくい高精度な機械設備の異常監視装置を提供する。

## 請 求 の 範 囲

1. 鉄道車両の車軸用軸受装置の異常の有無を診断する異常診断装置であって、

前記軸受装置から発生する信号を電気信号として出力する検出処理部と、  
前記検出処理部の出力を基に前記軸受装置の異常診断を行う演算処理部と、  
前記演算処理部による判定結果を出力する結果出力部と、  
前記判定結果に基づき前記鉄道車両の制御系に制御信号をフィードバックする制御処理部と、

を備えたことを特徴とする異常診断装置。

2. 前記演算処理部は、前記検出処理部からの前記電気信号を蓄積し、前記信号の種類によって適切な分配ルートに分配するデータ蓄積分配部と、

前記データ蓄積分配部から分配された電気信号を基に、前記軸受装置に関する所定の物理量を算出する分析部と、

前記軸受装置に関する軸受装置データが保存された第1データ保存部と、

前記分析部の分析結果と、前記第1データ保存部に保存された前記軸受装置データとを比較参照し、前記軸受装置の異常診断を行う比較判定部と、

前記分析部の分析結果および前記比較判定部による判定結果を保存する第2データ保存部とを有することを特徴とする請求の範囲第1項記載の異常診断装置。

3. 前記分析部は、前記演算処理部から送られた電気信号のノイズ成分を除去又は特定の周波数成分を抽出し、出力するフィルタ処理部と、

前記フィルタ処理部から出力された信号の周波数分析を行う周波数分析部と、  
を有し、

前記比較判定部は、前記周波数分析部の周波数分析結果に基づき、前記軸受装置の異常診断を行うことを特徴とする請求の範囲第2項に記載の異常診断装置。

4. 前記分析部は、前記データ蓄積部から出力された信号を基に前記軸受装置の温度を算出する温度分析部を有し、

前記比較判定部は、前記温度分析部が算出した前記温度に基づき、前記軸受装

置の異常診断を行うことを特徴とする請求の範囲第 2 又は 3 項に記載の異常診断装置。

5. 前記分析部は、前記データ蓄積部から出力された信号を基に前記軸受装置の回転速度を算出する回転分析部を有し、

前記比較判定部は、前記回転分析部が算出した前記回転速度に基づき、前記軸受装置の異常診断を行うことを特徴とする請求の範囲第 2 ～ 4 項のいずれかに記載の異常診断装置。

6. 前記演算処理部は、前記異常診断結果に応じて前記第 2 データ保存部に蓄積されたデータを前記制御処理部に出力することを特徴とする請求の範囲第 1 ～ 5 項のいずれかに記載の異常診断装置。

7. 前記フィルタ処理部は、1 kHz 以下の周波数成分のみを抽出することを特徴とする請求の範囲第 1 ～ 6 項のいずれかに記載の異常診断装置。

8. 前記検出処理部の検出素子は、前記軸受装置の静止部であって負荷圈に配置されることを特徴とする請求の範囲第 1 ～ 7 項のいずれかに記載の異常診断装置。

9. 前記データ蓄積分配部は、所定レベル以上のノイズ成分を含む電気信号を前記分析部に出力しないことを特徴とする請求の範囲第 1 ～ 8 項のいずれかに記載の異常診断装置。

10. 前記比較判定部は、異常に起因する周波数とその高調波のレベルを基準値と比較することにより前記軸受装置の異常診断を行うことを特徴とする請求の範囲第 1 ～ 9 項のいずれかに記載の異常診断装置。

11. 前記比較判定部は、異常に該当する周波数及びその高調波のピーク値の少なくとも一つが所定の基準値よりも大きい場合に異常と判断することを特徴とする請求の範囲第 1 ～ 10 項のいずれかに記載の異常診断装置。

12. 前記比較判定部は、異常を示す周波数及びその高調波のピーク値を基に、前記軸受装置の損傷の度合いを推定することを特徴とする請求の範囲第 1 ～ 11 項のいずれかに記載の異常診断装置。

13. 前記比較判定部は、異常を示す周波数とその高調波のレベルを比較

することにより異常診断を判定することを特徴とする請求の範囲第1～12項のいずれかに記載の異常診断装置。

14. 前記比較判定部は、異常を示す周波数を含む周波数帯域の自乗平均またはパーシャルオーバーオールを基に異常診断を行うことを特徴とする請求の範囲第1～13項のいずれかに記載の異常診断装置。

15. 前記比較判定部は、周波数スペクトルをケプストラム分析することにより異常診断を行うことを特徴とする請求の範囲第1～14項のいずれかに記載の異常診断装置。

16. 前記検出処理部と前記演算処理部間及び前記演算処理部及び前記制御処理部間は、それぞれ防水、防油、防塵、防錆及び防湿機能並びに耐熱、耐電及び耐電磁ノイズ性を有するケーブルを介して信号伝達を行うことを特徴とする請求の範囲第1～15項のいずれかに記載の異常診断装置。

17. 前記検出処理部と前記演算処理部間及び前記演算処理部及び前記制御処理部間は、それぞれ無線通信機を備え、前記無線通信機を介して無線を介して信号伝達を行うことを特徴とする請求の範囲第1～15項のいずれかに記載の異常診断装置。

18. 前記検出処理部と前記演算処理部間及び前記演算処理部及び前記制御処理部間は、それぞれ防水、防油、防塵、防錆及び防湿機能並びに耐熱及び耐電磁ノイズ性を有するケーブルを介して信号伝達を行う、または無線通信機を介して通信を行うことを特徴とする請求の範囲第1～15項のいずれかに記載の異常診断装置。

19. リアルタイムに異常診断を行うことを特徴とする請求の範囲第1～18項のいずれかに記載の異常診断装置。

20. 前記蓄積分配部に蓄積したデータを車両走行時とは別の時間に異常診断することを特徴とする請求の範囲第1～18項のいずれかに記載の異常診断装置。

21. 前記軸受装置の軸受の異常の有無及び異常発生箇所を診断することを特徴とする請求の範囲第1～20項のいずれかに記載の異常診断装置。

22. 車輪のフラット部を診断することを特徴とする請求の範囲第1～20項のいずれかに記載の異常診断装置。

23. 前記軸受装置の歯車の異常の有無及び異常発生箇所を診断することを特徴とする請求の範囲第1～20項のいずれかに記載の異常診断装置。

24. 回転体を有する機械設備の異常診断装置であって、  
前記回転体の構成部品に組み付けられ、前記回転体の回転動作時の物理量を検出するセンサを有するセンサユニットと、  
前記センサユニットの出力信号を分析し、分析結果を所定の基準データと比較して前記回転体の異常の有無を判定する演算処理部と、

前記演算処理部の前記分析結果及び前記演算処理部の判定結果を表示し、前記判定結果に応じて前記機械設備の動作を制御する制御処理部と、を備えたことを特徴とする異常診断装置。

25. 前記センサユニットは、前記センサの前記出力信号を増幅する出力増幅手段を備えたことを特徴とする請求の範囲第24項に記載の異常診断装置。

26. 前記センサユニットは、前記出力信号を前記演算処理部に無線送信する無線通信手段を備えたことを特徴とする請求の範囲第24又は25項に記載の異常診断装置。

27. 前記演算処理部及び制御処理部は、前記回転体から離れた監視用基地局に設けられたことを特徴とする請求の範囲第26項に記載の異常診断装置。

28. 前記センサユニットは、鉄道車両の軸受に取り付けられ、  
前記センサユニットは、前記軸受の異常を診断することを特徴とする請求の範囲第27項に記載の異常診断装置。

29. 機械設備の摺動部材又は回転体の異常の有無を検出する機械設備の異常診断装置であって、

前記機械設備から発せられる信号を検出する1又は複数個の検出素子を有するセンサユニットと、

前記検出素子の出力を基に前記機械設備の異常の有無を判定する演算処理を行う演算処理部と、を備え、

前記演算処理部は、マイクロコンピュータから構成されることを特徴とする機械設備の異常診断装置。

30. 前記センサユニットは、前記摺動部材又は回転体に組み込まれることを特徴とする請求の範囲第29項に記載の機械設備の異常診断装置。

31. 前記マイクロコンピュータは、前記回転体又は摺動部材或いは前記回転体又は摺動部材を支持する機構部品に組み付けられたことを特徴とする請求の範囲第30項に記載の機械設備の異常診断装置。

32. 前記マイクロコンピュータと前記センサユニットとを単一のデバイス基板に搭載して、単一の処理ユニットとして、前記回転体又は摺動部材或いは前記摺動部材を支持する機構部品に組み付けたことを特徴とする請求の範囲第29項に記載の機械設備の異常診断装置。

33. 前記演算処理部が、単一の筐体に收容されていることを特徴とする請求の範囲第29～32項のいずれかに記載の機械設備の異常診断装置。

34. 前記センサユニットが、前記筐体に一体的に配されていることを特徴とする請求の範囲第33項に記載の機械設備の異常診断装置。

35. 前記検出素子が、温度、振動変位、振動速度、振動加速度、力、歪、音響、アコースティックエミッション、超音波、回転速度、のうち少なくとも1つ以上の検出を可能とすることを特徴とする請求の範囲第29～34項のいずれかに記載の機械設備の異常診断装置。

36. 前記演算処理部が、中央演算処理装置、増幅器、アナログ／デジタル変換器、濾波器、比較器、パルスカウンタ、タイマ、割り込みコントローラ、ROM、RAM、デジタル／アナログ変換器、通信モジュール、および外部インターフェース、を有することを特徴とする請求の範囲第29～35項のいずれかに記載の機械設備の異常診断装置。

37. 前記演算処理部が、標準偏差および波高率の特徴パラメータ算出、包絡線検波、FFT、フィルタ、ウェーブレット変換、短時間FFT、回転体の欠陥に起因した特徴周波数算出のうち少なくとも1つ以上の処理と比較判定を実行可能なことを特徴とする請求の範囲第29～36項のいずれかに記載の機械設



備の異常診断装置。

38. 回転体と摺動部材の少なくとも一つを備えた、機械設備の状態監視方法であって、  
前記機械設備から発生する信号を基に、該機械設備の所定の物理量を分析し、  
分析した結果と前記機械設備の異常の有無の診断基準となる情報とを第一の時間毎に比較照合して前記機械設備の異常の有無を仮診断し、  
比較照合を所定の回数行った時、若しくは、第二の時間毎に、比較照合した結果に基づいて、異常と仮診断した回数が閾値以上である場合に異常と判定する総合評価を行い、前記機械設備の異常の有無及び異常部位を診断することを特徴とする機械設備の状態監視方法。

39. 回転体と摺動部材の少なくとも一つを備えた、機械設備の状態監視方法であって、  
前記機械設備から発生する信号を基に、該機械設備の所定の物理量を分析し、  
分析した結果と前記機械設備の異常の有無の診断基準となる情報とを第一の時間毎に比較照合して前記機械設備の異常の有無を仮診断し、  
比較照合を所定の回数行った時、若しくは、第二の時間毎に、比較照合した結果に基づいて、異常と仮診断した回数により異常の程度を判別する総合評価を行い、異常の有無及び異常部位を診断することを特徴とする機械設備の状態監視方法。

40. 前記信号はデジタル信号にA/D変換され、前記デジタル信号の周波数を分析する処理が行われ、前記機械設備の作動信号に基づき算出した前記機械設備の損傷に起因した周波数成分と実測データに基づく周波数成分とを前記第一の時間毎に比較照合することを特徴とする請求の範囲第38又は39項に記載の機械設備の状態監視方法。

41. 前記信号は、増幅処理及びフィルタ処理が施されていることを特徴とする請求の範囲第40項に記載の機械設備の状態監視方法。

42. 前記機械設備の前記回転体と摺動部材の少なくとも一つは、転がり軸受、ボールねじ、リニアガイド、リニアボールベアリングのいずれかであって、前記機械設備の作動信号は、前記転がり軸受及び前記ボールねじにおける回転速

度信号であり、前記リニアガイド及び前記リニアボールベアリングにおける移動速度信号であることを特徴とする請求の範囲第40又は41項に記載の機械設備の状態監視方法。

43. 請求の範囲第38又は39項に記載の状態監視方法を用いた、回転体と摺動部材の少なくとも一つを備えた、機械設備の状態監視装置であって、  
前記機械設備から発生する信号を検出する少なくとも一つの検出処理部と、  
前記検出処理部の出力した前記信号を基に、前記機械設備の状態を判定するための演算処理を実行するマイクロコンピュータを備えた演算処理部と、  
前記演算処理部の判定結果を出力する結果出力部と判定結果に基づいて機械設備の制御系にフィードバックする制御器の少なくとも一方を備えた制御処理部と、  
を備えることを特徴とする機械設備の状態監視装置。

44. 前記検出処理部と前記マイクロコンピュータの少なくとも一方が前記回転体や前記摺動部材に組込まれていることを特徴とする請求の範囲第43項に記載の機械設備の状態監視装置。

45. 前記回転体と前記摺動部材の少なくとも一つは、ラジアル荷重が負荷される軸受であって、

前記検出処理部は前記軸受の軌道輪と嵌合する軸受箱のラジアル荷重の負荷圏に固定されていることを特徴とする請求の範囲第43又は44項に記載の機械設備の状態監視装置。

46. 請求の範囲第43～45項のいずれかに記載の機械設備の状態監視装置を用いた鉄道車両用軸受装置の異常診断装置。

47. 請求の範囲第43～45項のいずれか一つに記載の機械設備の状態監視装置を用いた風車用軸受装置の異常診断装置。

48. 請求の範囲第43～45項のいずれか一つに記載の機械設備の状態監視装置を用いた工作機械主軸用軸受装置の異常診断装置。

49. 機械装置のハウジングにねじ止めされたボルトに固定され、前記機械装置から発生する信号を電気信号として出力するセンサユニットを有する検出処理部と、

前記検出処理部の出力を基に前記機械装置の異常診断を行う演算処理部と、  
前記異常診断の結果に基づき前記機械装置の制御系に制御信号をフィードバックする制御処理部と、

を備えたことを特徴とする機械装置の異常診断装置。

50. 前記演算処理部は、前記検出処理部からの前記電気信号を蓄積し、  
前記信号の種類によって適切な分配ルートに分配するデータ蓄積分配部と、

前記データ蓄積分配部から分配された電気信号を基に、前記機械装置に関する  
所定の物理量を算出する分析部と、

前記機械装置に関する機械装置データが保存された第1データ保存部と、

前記分析部が算出した前記物理量と、前記内部データ保存部に保存された前記  
機械装置データとを比較し、前記機械装置の異常診断を行う比較判定部と、

前記分析部の分析結果および前記比較判定部による前記異常診断の結果を保存  
する第2データ保存部とを有することを特徴とする請求の範囲第49項記載の機  
械装置の異常診断装置。

51. 前記演算処理部及び前記制御処理部は、マイクロコンピュータまたは  
ICチップで構成されていることを特徴とする請求の範囲第49又は50項記  
載の機械装置の異常診断装置。

52. 前記検出処理部と前記演算処理部、または前記演算処理部と前記制  
御処理部間の信号伝達をワイヤレスで行うことを特徴とする請求の範囲第49～  
51のいずれかに記載の機械装置の異常診断装置。

53. 内輪軌道面を有する内輪と、外輪軌道面を有する外輪と、前記内外  
輪軌道面間に相対回転自在に配された複数の転動体と、前記転動体を転動自在に  
保持する保持器と、を有しラジアル荷重が負荷される軸受を軸受箱内に配した軸  
受装置であって、

前記軸受箱における負荷圏内に、単一のケース内に收容固定された振動センサ  
及び温度センサのうちから選択される少なくとも1個の異常を検出する異常検出  
手段を有することを特徴とする軸受装置。

54. 前記軸受箱における負荷圏側外周面の一部に平坦部を設け、前記平

坦部に前記異常検出手段が固定されていることを特徴とする請求の範囲第53項に記載の軸受装置。

55. 前記軸受箱の負荷圏外径部であって、軸受幅中央部に前記異常検出手段が配されていることを特徴とする請求の範囲第54項に記載の軸受装置。

56. 前記軸受箱の負荷圏外径部であって、前記内輪軌道面または前記外輪軌道面の幅領域内に前記異常検出手段が配されていることを特徴とする請求の範囲第53項に記載の軸受装置。

57. 前記異常検出手段のケースは、検出した信号を送出するための信号搬送手段を有し、前記信号搬送手段を介して送出された信号に基づき異常の有無を判定し出力する判定結果出力部を有することを特徴とする請求の範囲第53～56項のいずれかに記載の軸受装置。

58. 前記異常検出手段は、前記軸受箱に形成された凹部に埋設固定され、該異常検出手段と凹部との隙間をモールドして取付けられていることを特徴とする請求の範囲第53～57項のいずれかに記載の軸受装置。

59. 前記異常検出手段は、間座を介して前記凹部に固定されていることを特徴とする請求の範囲第58項に記載の軸受装置。

60. 前記振動センサからの振動波形内の不要な周波数帯域を除去するフィルタ処理部と、前記フィルタ処理部から転送されたフィルタ後の波形の絶対値を検波するエンベロープ処理部と、前記エンベロープ処理部から転送された波形の周波数を分析する周波数分析部と、回転速度に基づき算出した損傷に起因した周波数と実測データに基づく周波数とを比較する比較照合部と、前記比較照合部での比較結果に基づき、異常の有無、異常部位の特定をする結果出力部を備えていることを特徴とする請求の範囲第53～59項のいずれかに記載の軸受装置。

図1

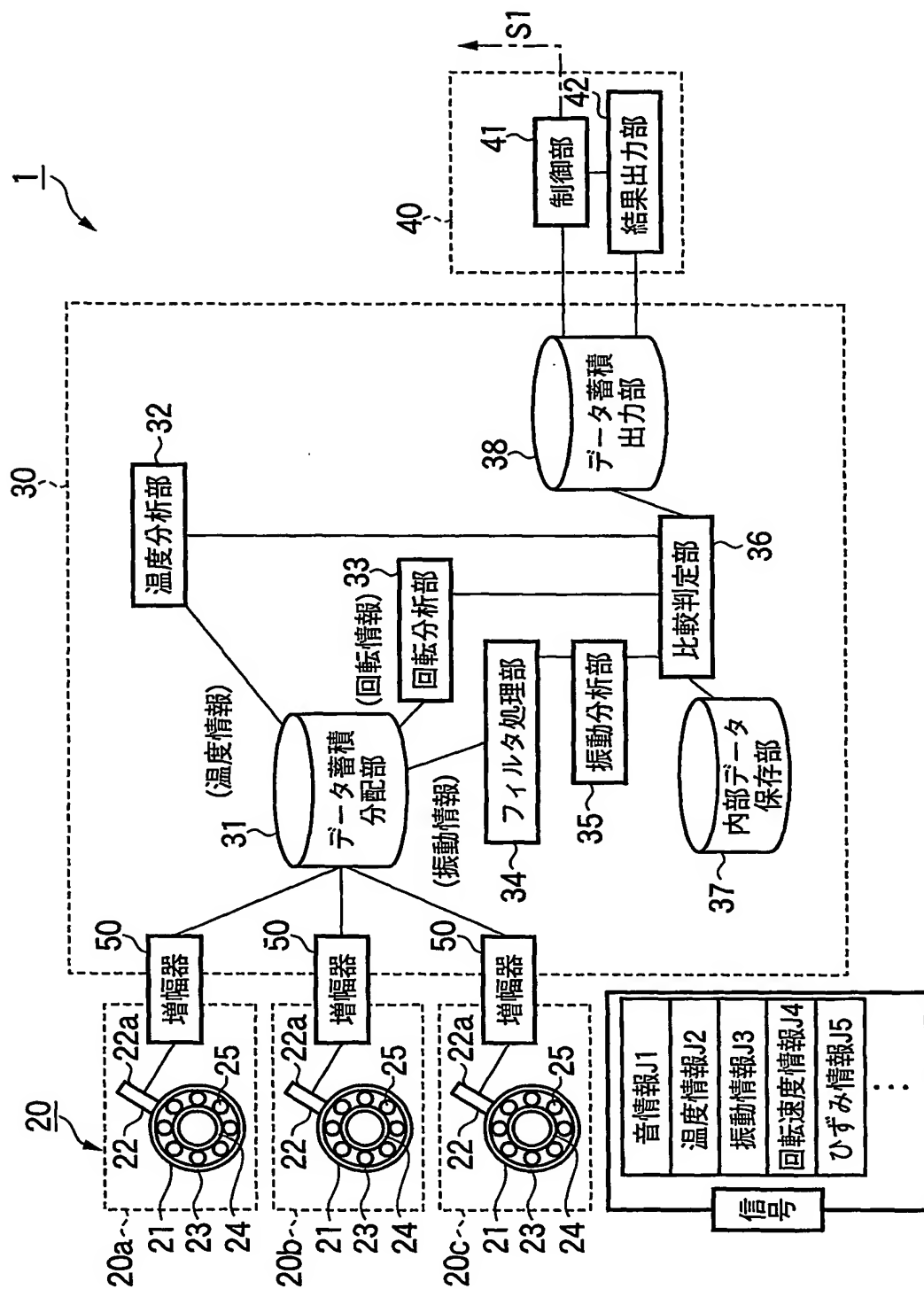


図2(a)

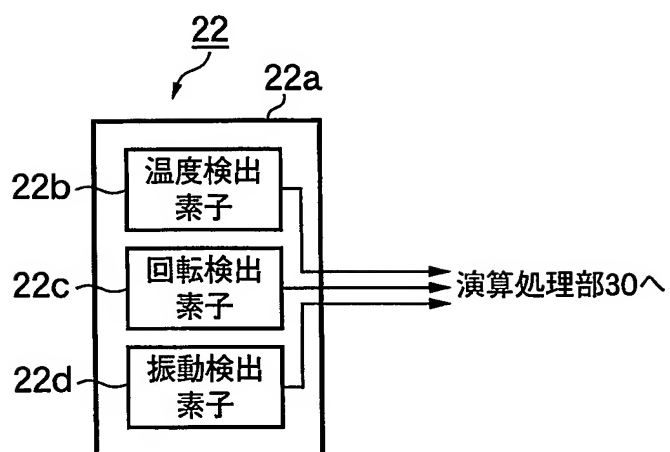


図2(b)

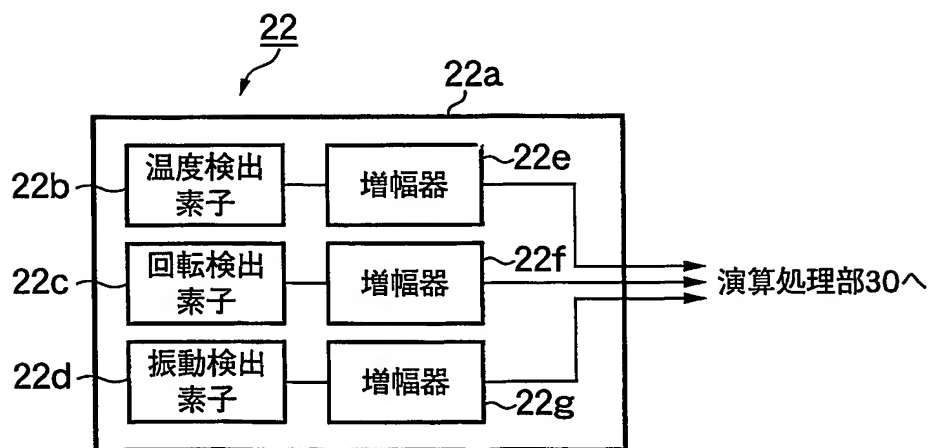


図3

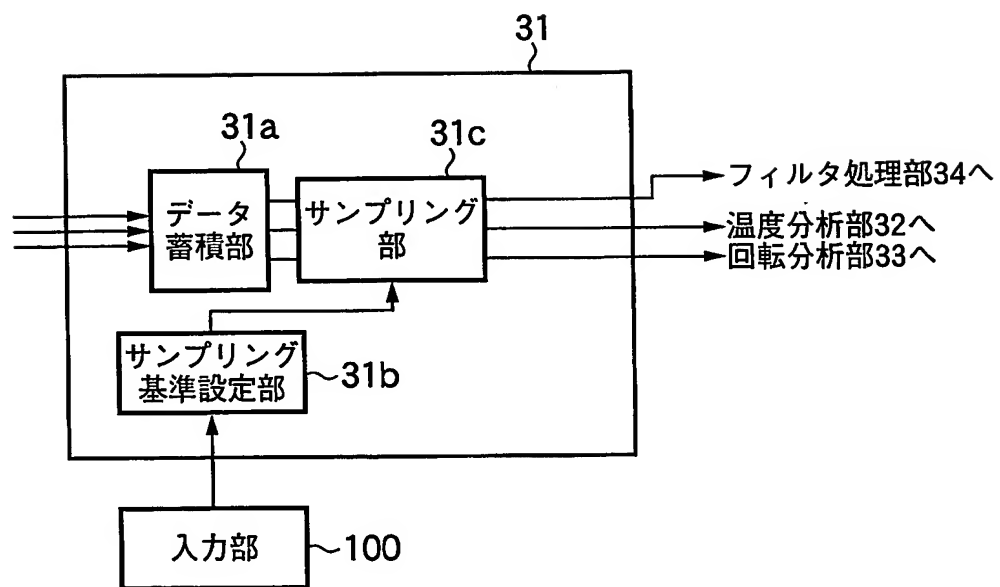


図4

転がり軸受の傷	エンベロープ処理後の周波数
内輪 (Si)	$Zf_i = \frac{f_r}{2} \left( 1 + \frac{D_a}{d_m} \cos \alpha \right) Z$ [Hz]
外輪 (So)	$Zf_c = \frac{f_r}{2} \left( 1 - \frac{D_a}{d_m} \cos \alpha \right) Z$ [Hz]
転動体 (Sb)	$2f_b = f_r \left( 1 - \frac{D_a^2}{d_m^2} \cos^2 \alpha \right)$ [Hz]
保持器 (Sc)	$f_c = \frac{f_r}{2} \left( 1 - \frac{D_a}{d_m} \cos \alpha \right)$ [Hz]

$f_r$ : 内輪回転速度 [Hz]     $Z$ : 転動体の数  
 $f_c$ : 保持器回転速度 [Hz]     $f_i$ :  $f_r - f_c$   
 $f_b$ : 転動体自転速度 [Hz]     $D_a$ : 転動体直径 [mm]  
 $d_m$ : ピッチ円直径 [mm]     $\alpha$ : 接触角 [度]



図5

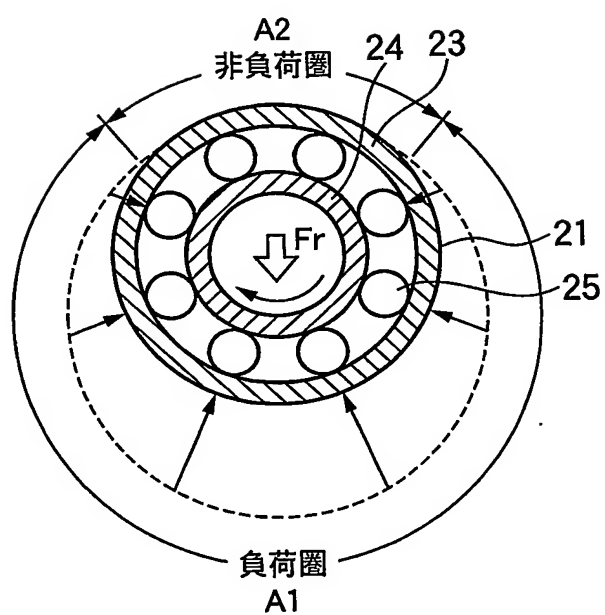


図6

時間波形

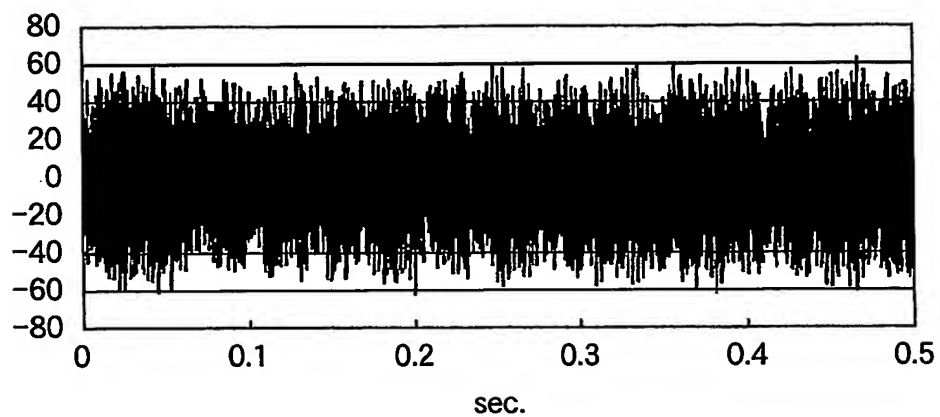


図7

FFTスペクトル

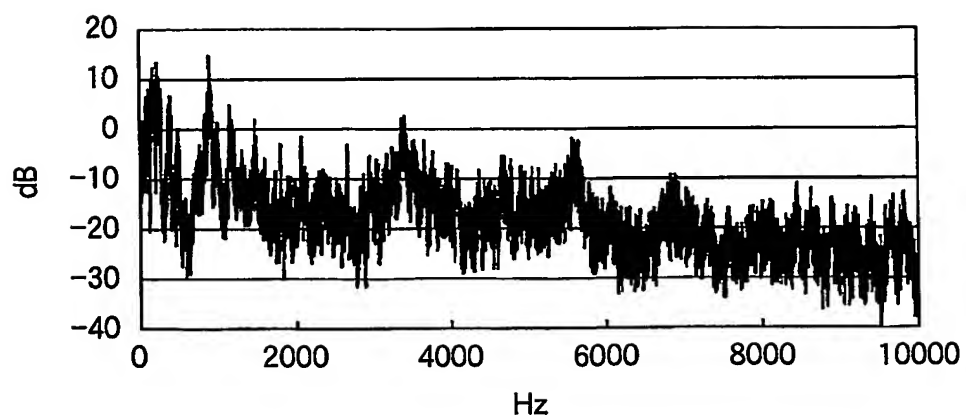


図8

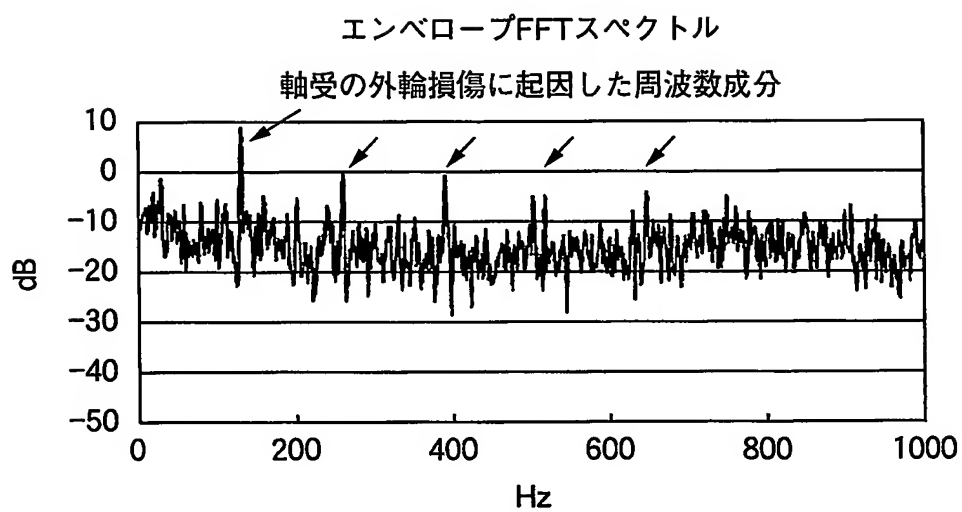


図9

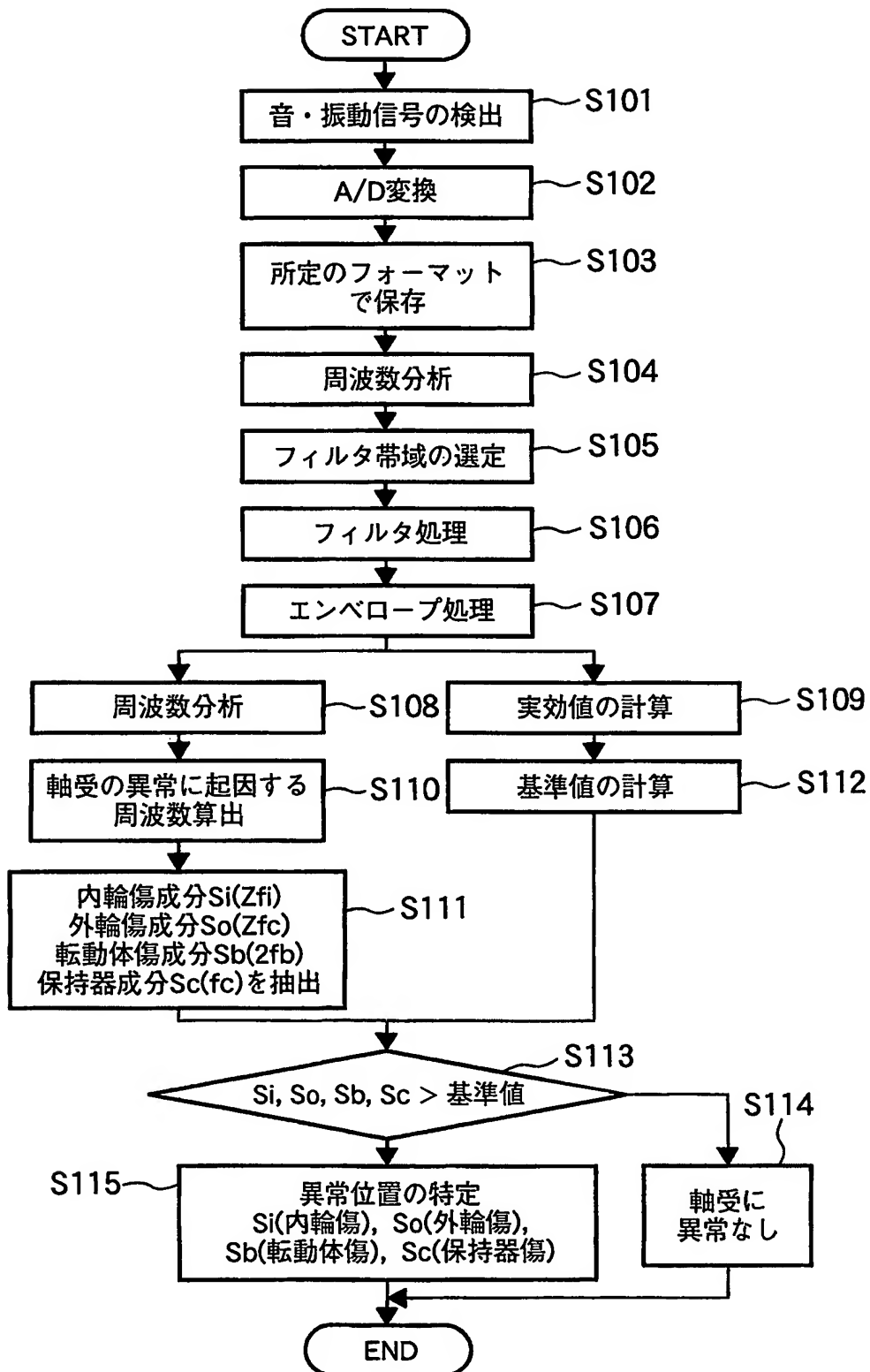


図10

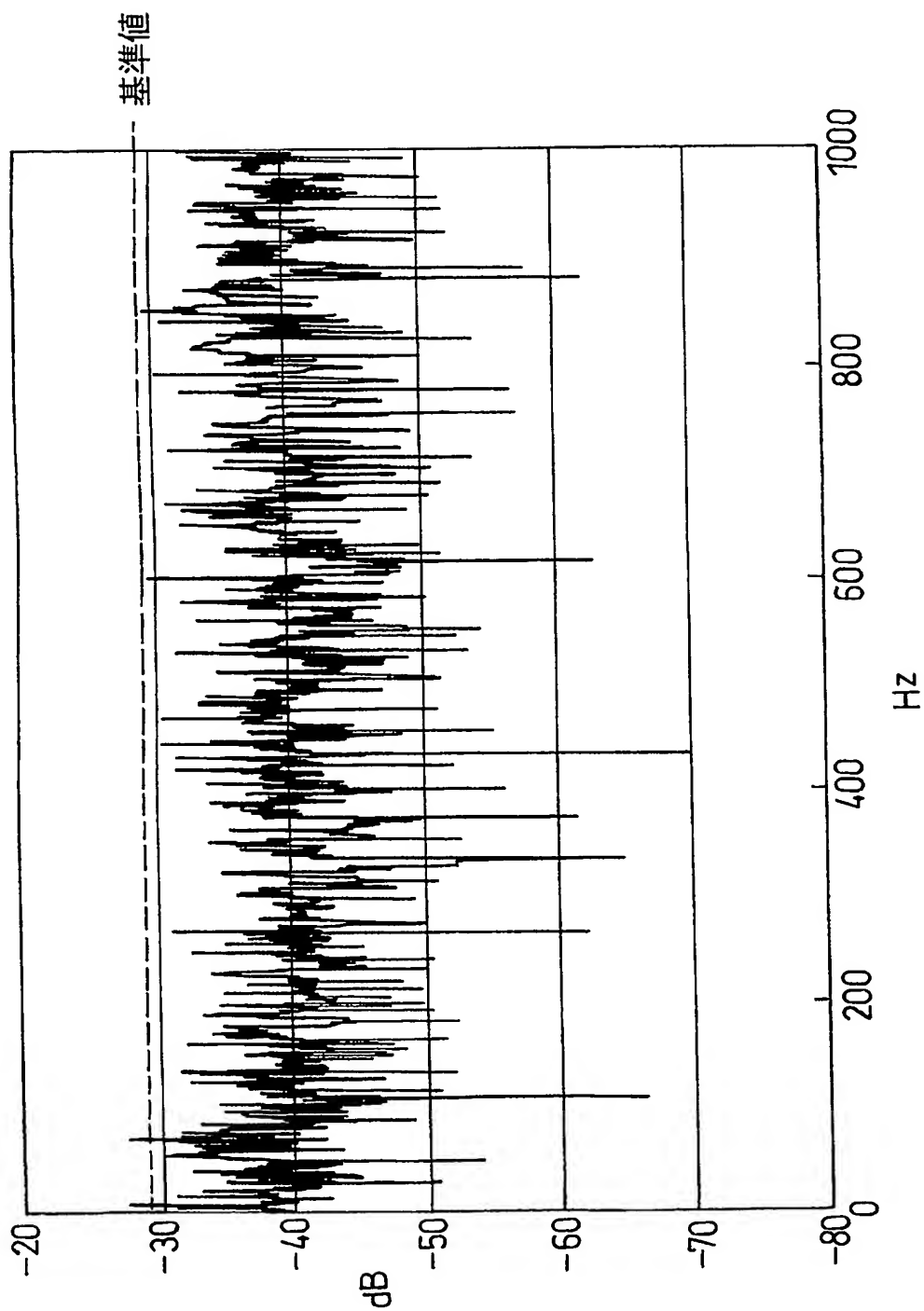


図11

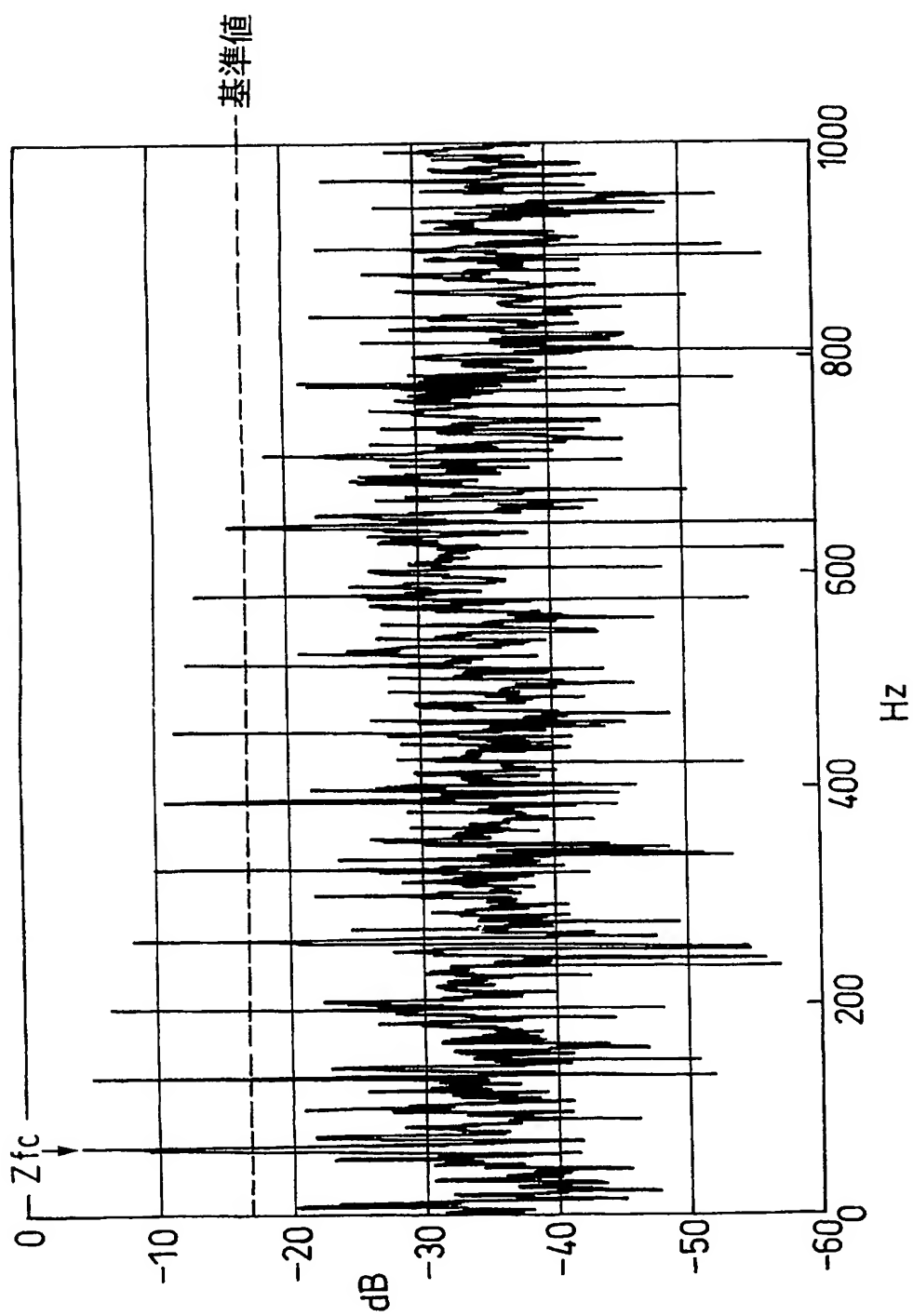


図12

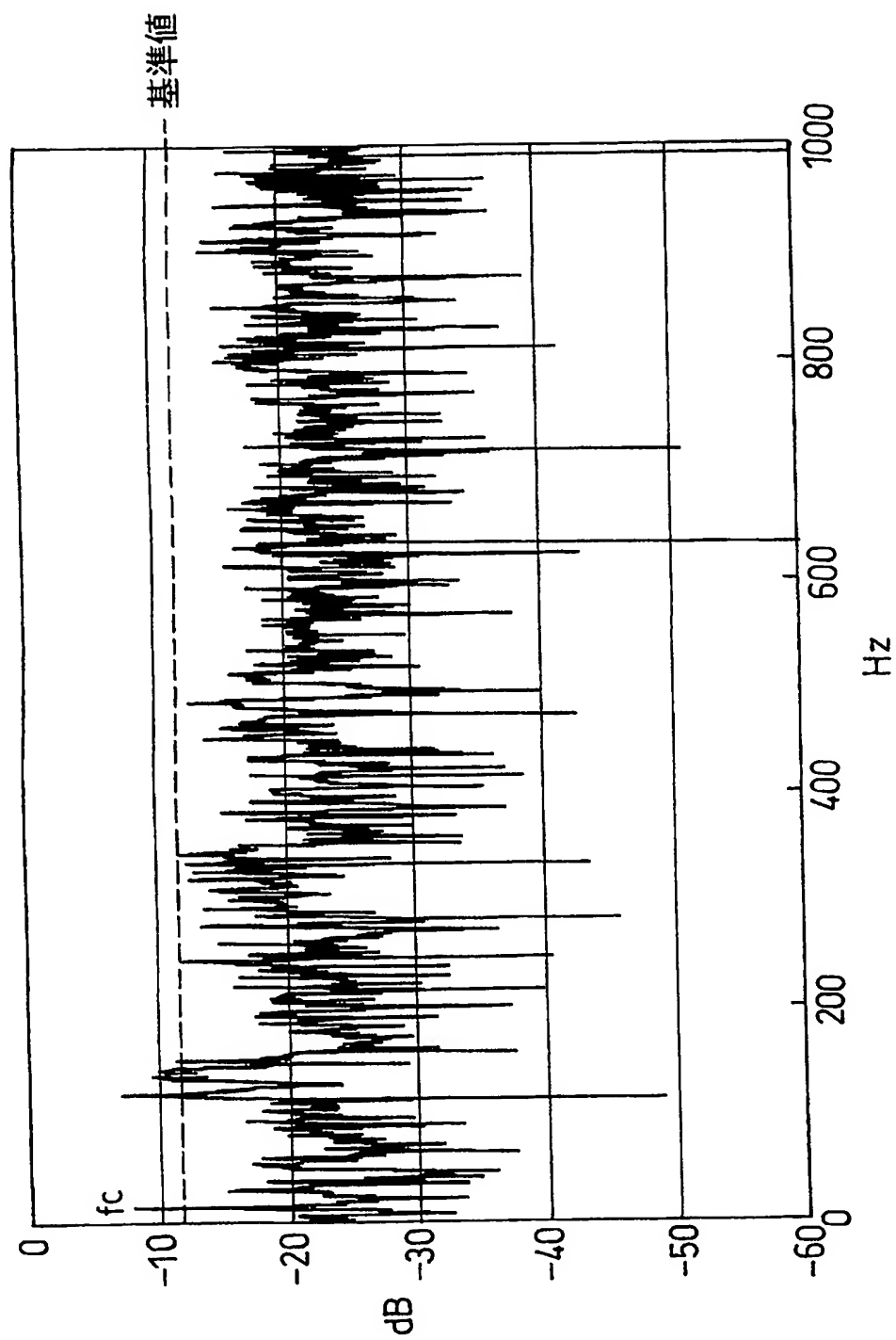


図13

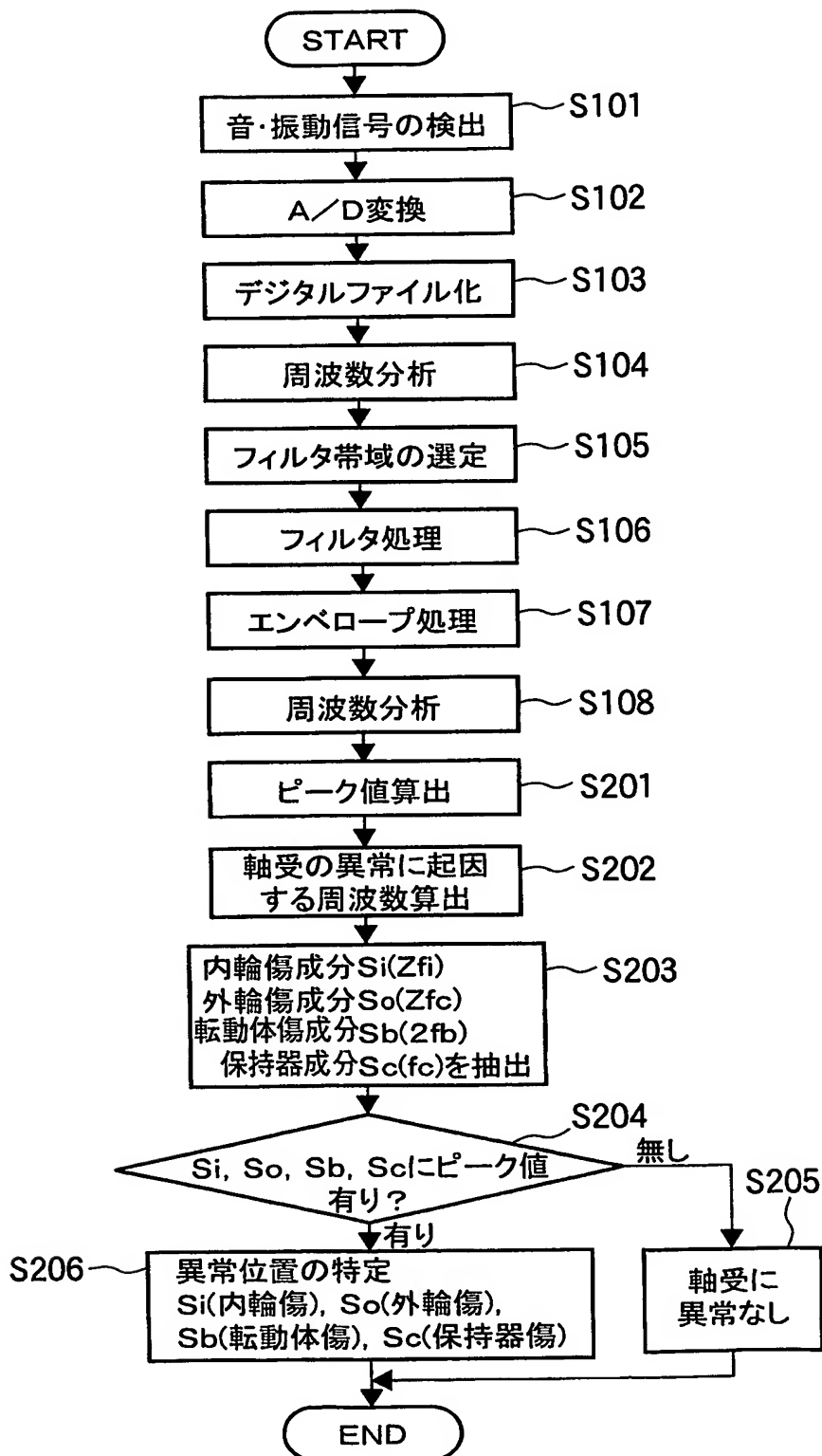
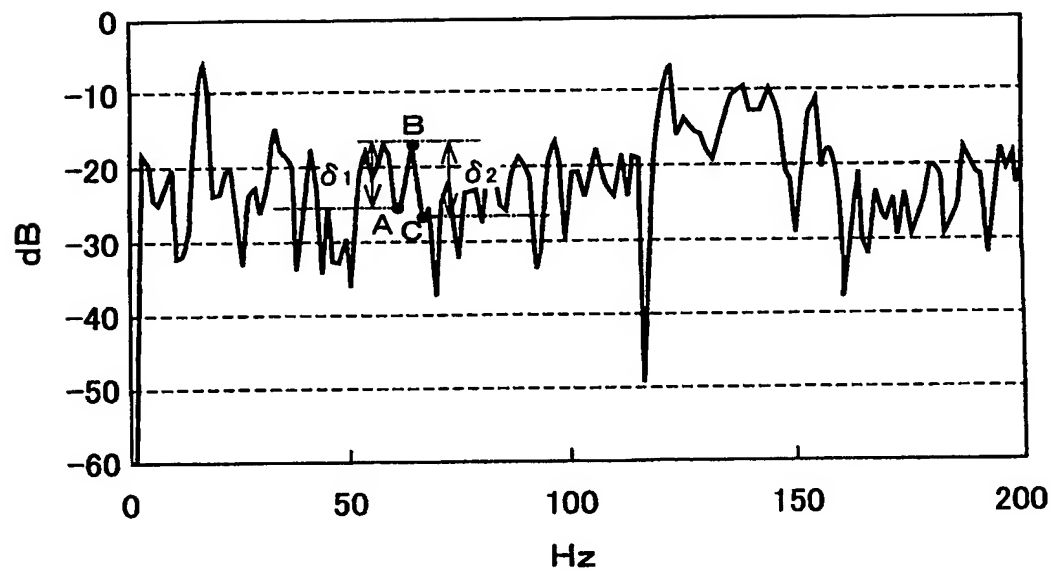




図14



$A(X_0, Y_0)$ ,  $B(X_1, Y_1)$ ,  $C(X_2, Y_2)$ とすると

$$\delta_1(=Y_1-Y_0) > 0, \quad -①$$

$$\delta_2(=Y_2-Y_1) < 0, \quad -②$$

①, ②を満たし,

$$dy/dx=(Y_1-Y_0)/(X_1-X_0) > 1$$

または,

$$dy/dx=(Y_2-Y_1)/(X_2-X_1) < -1$$

を満たすとき、 $Y_1$ をピークとする。

図15

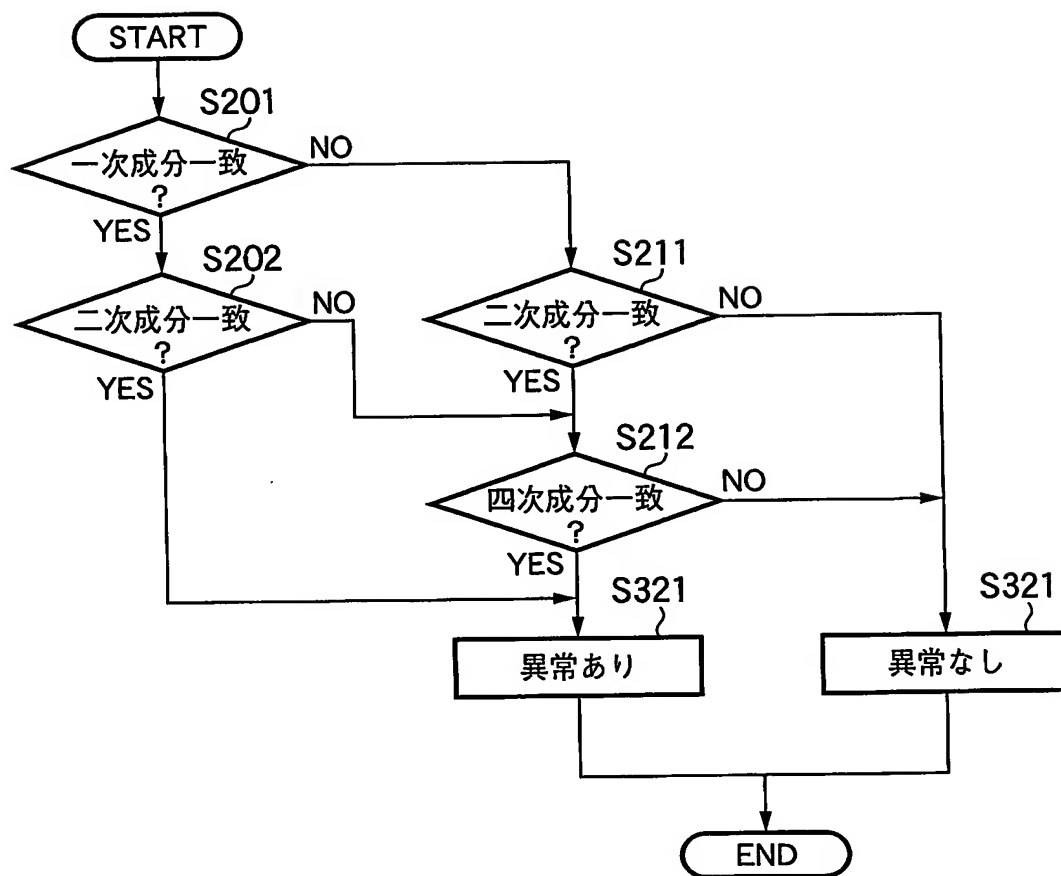


図16

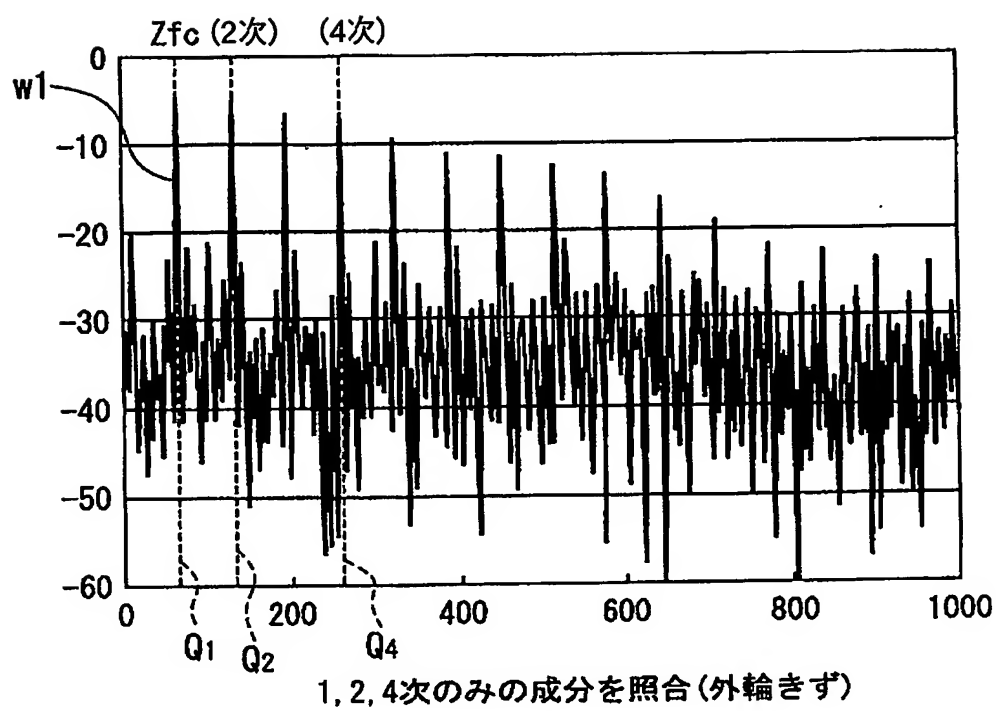


図17

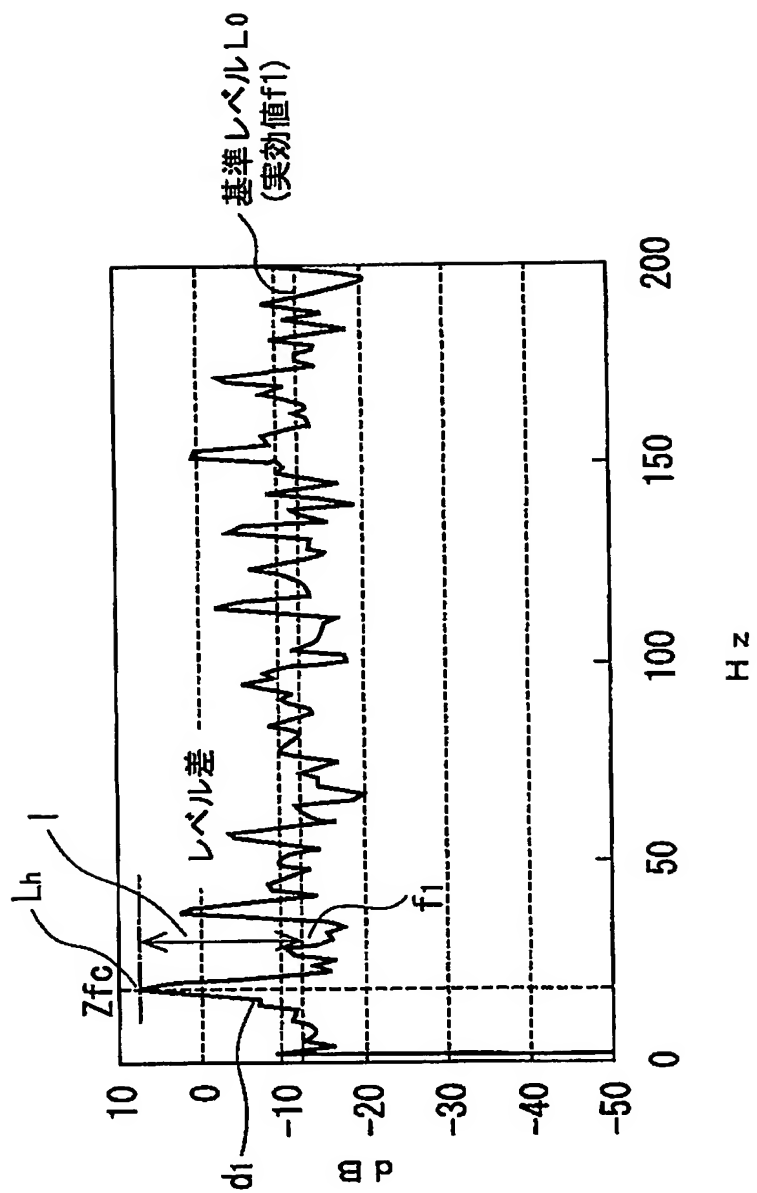


図18

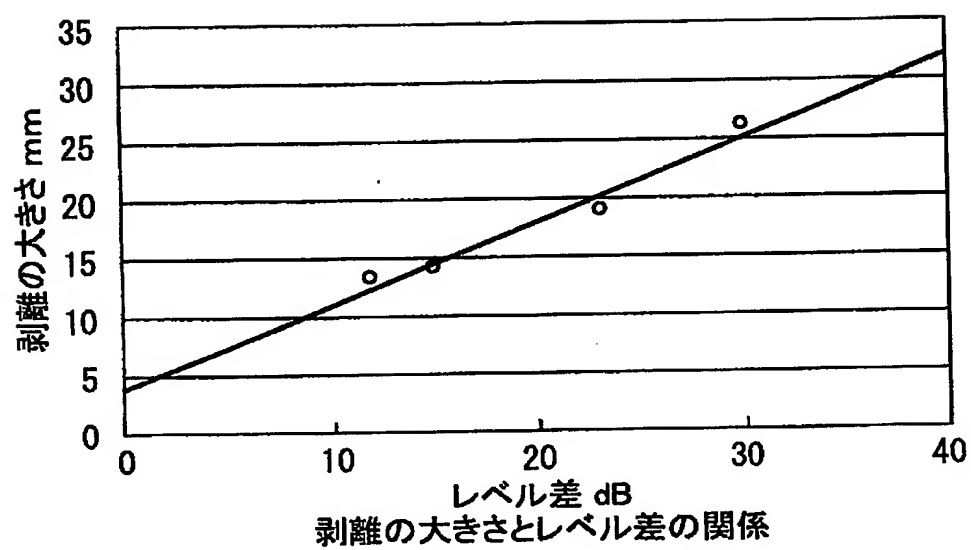


図19

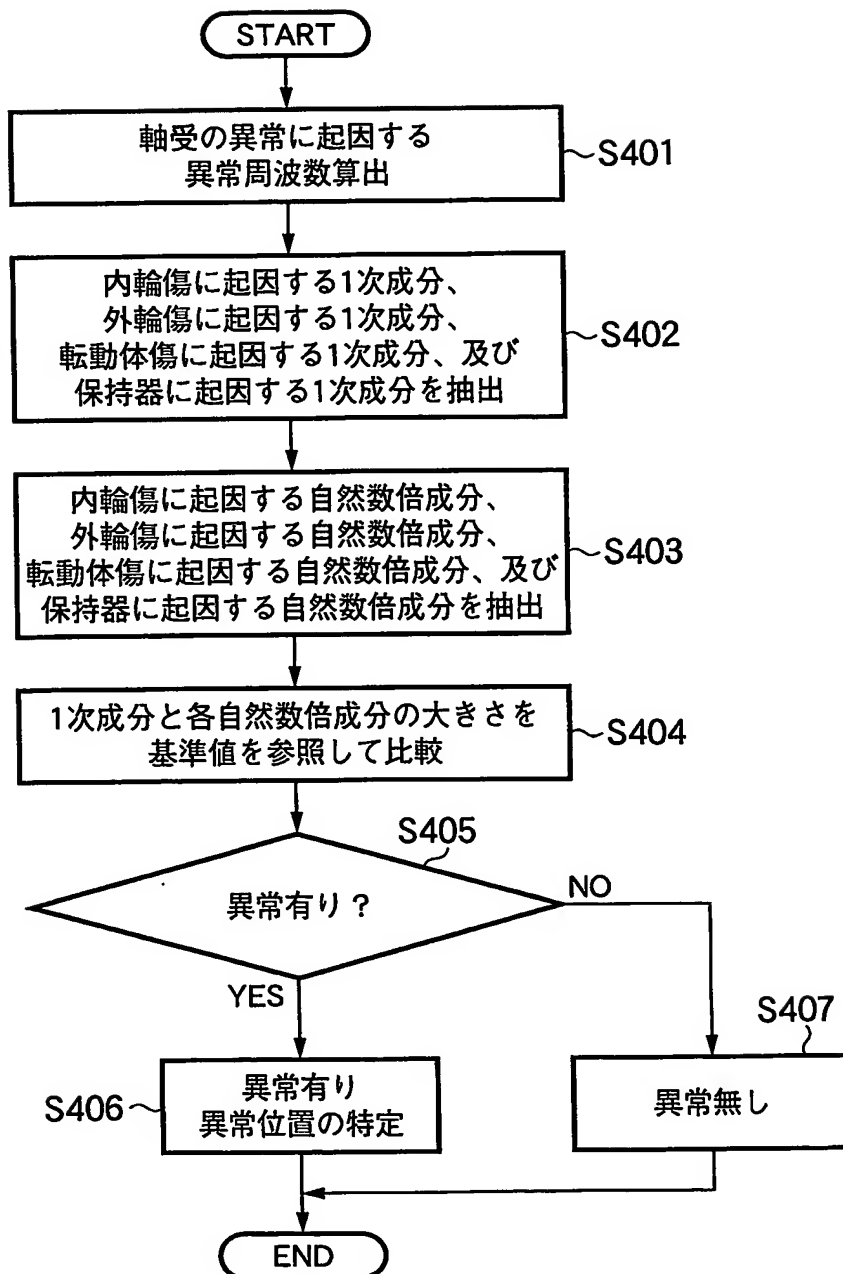


図20

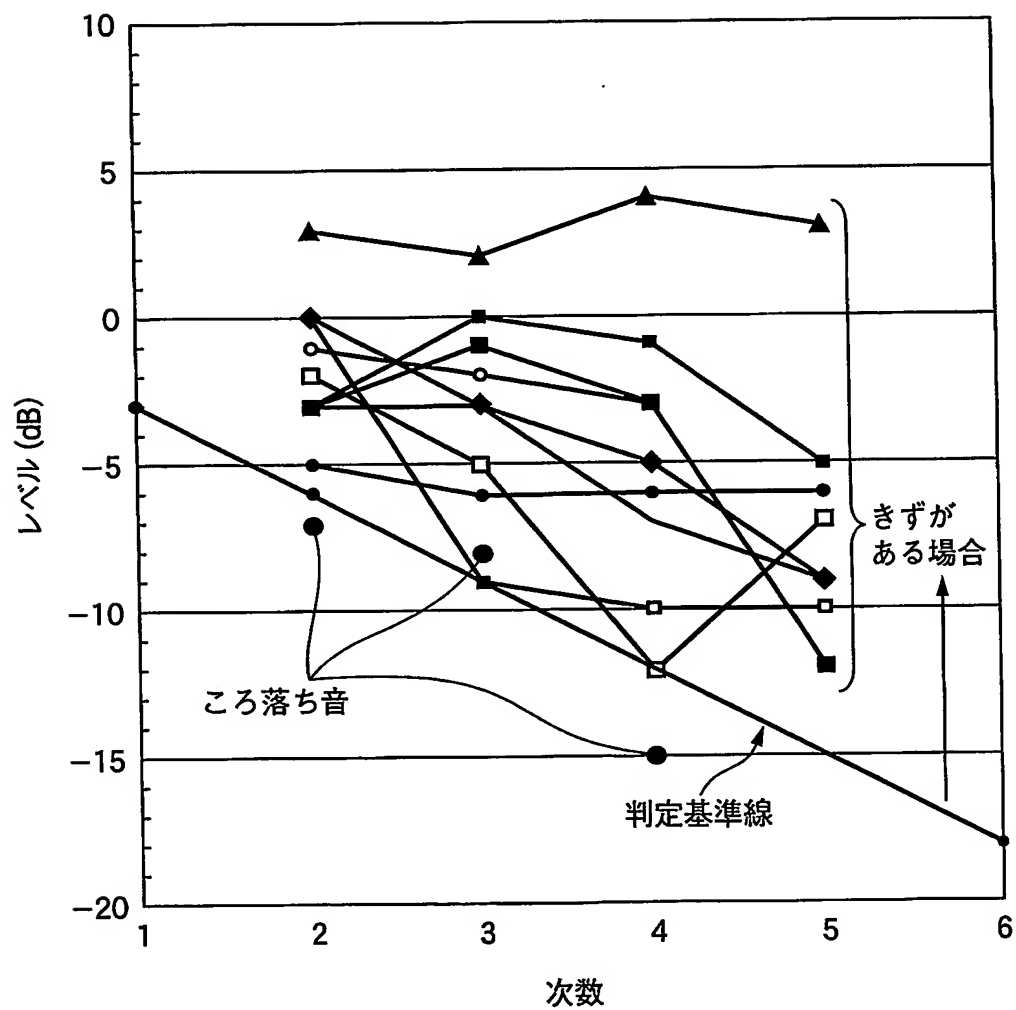


図21

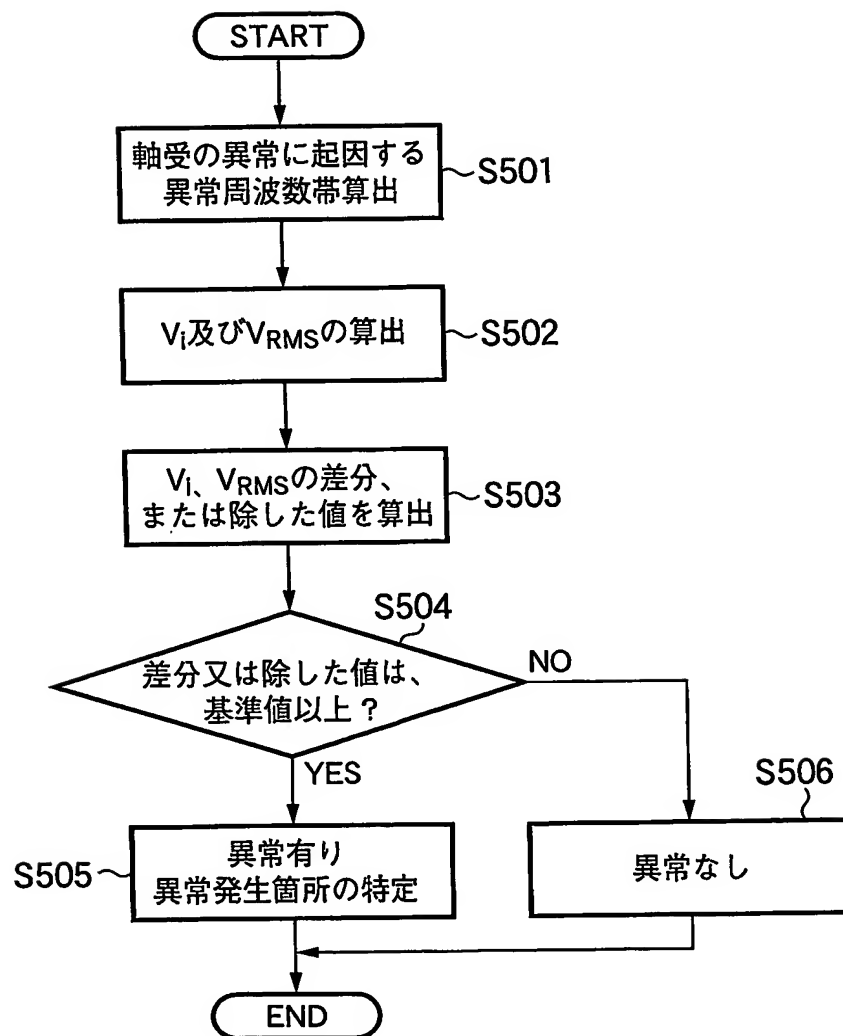




図22

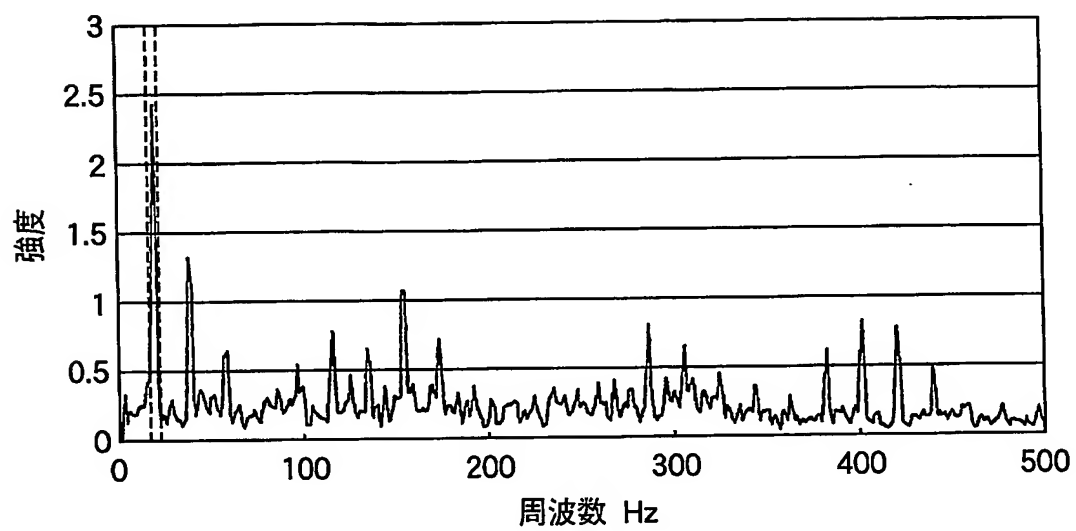


図23

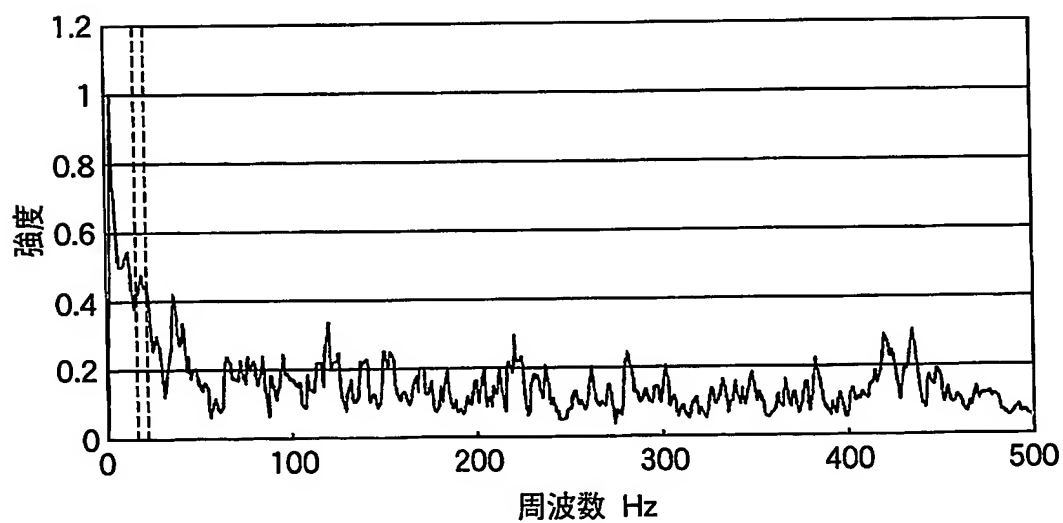


図24

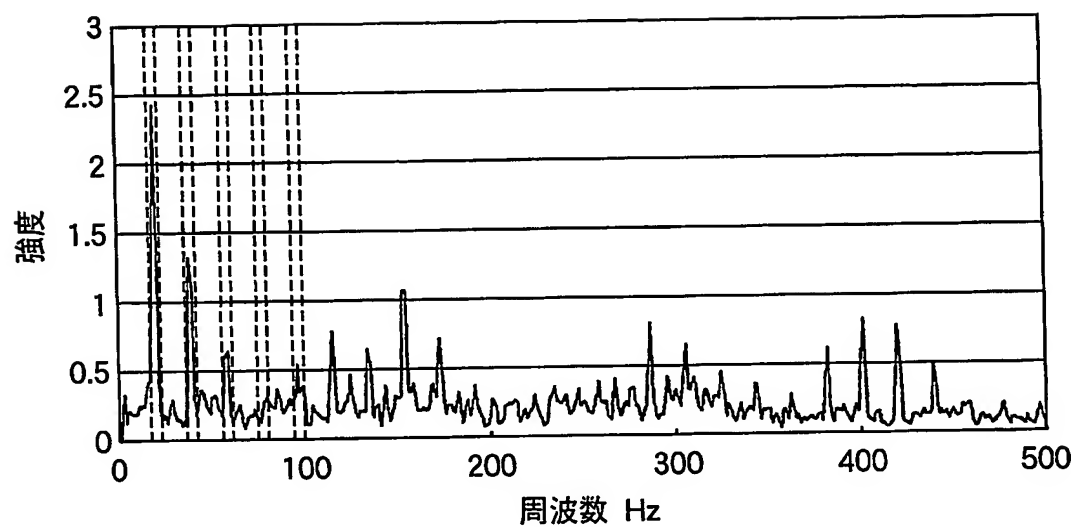


図25

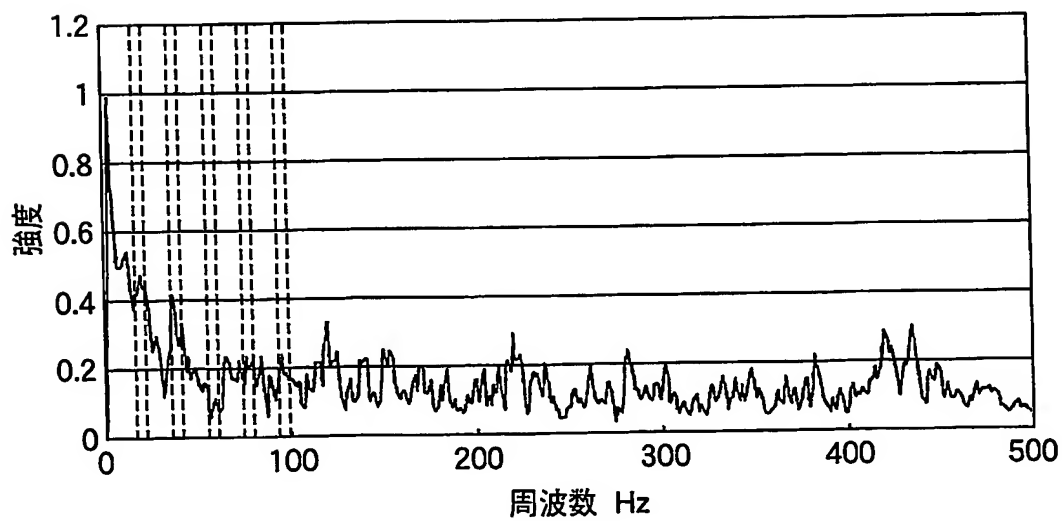


図26

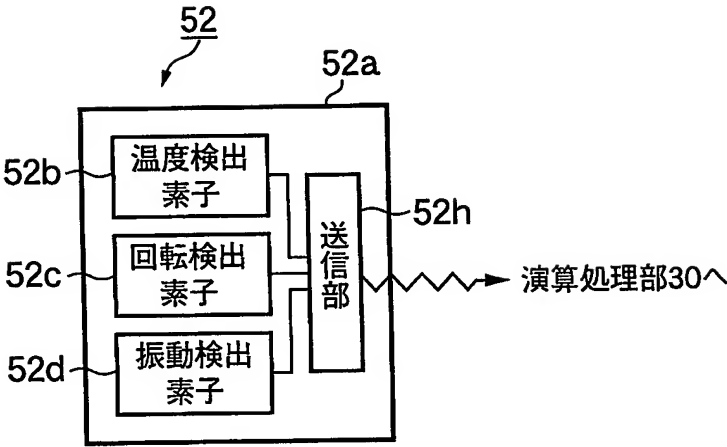


図27

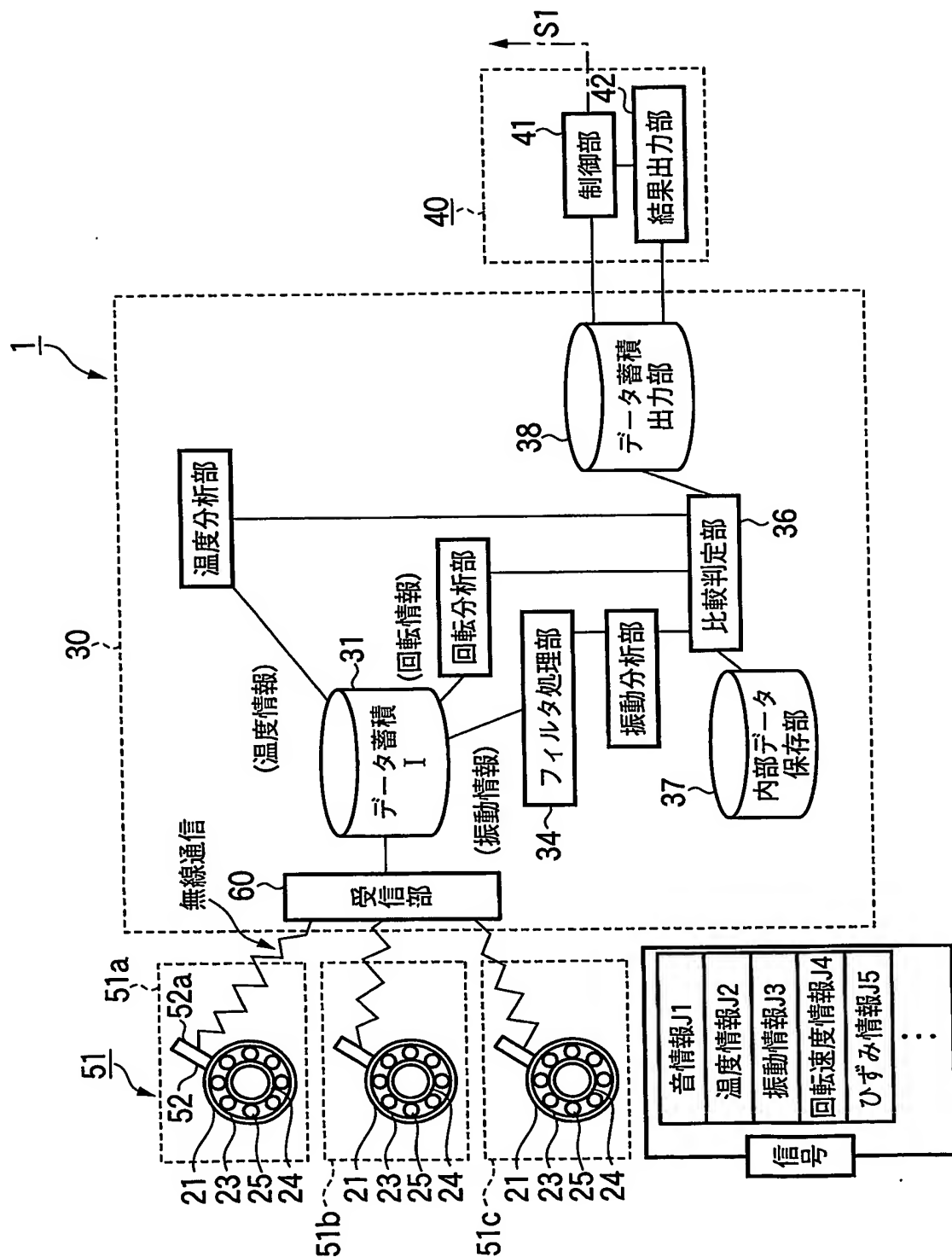


図28

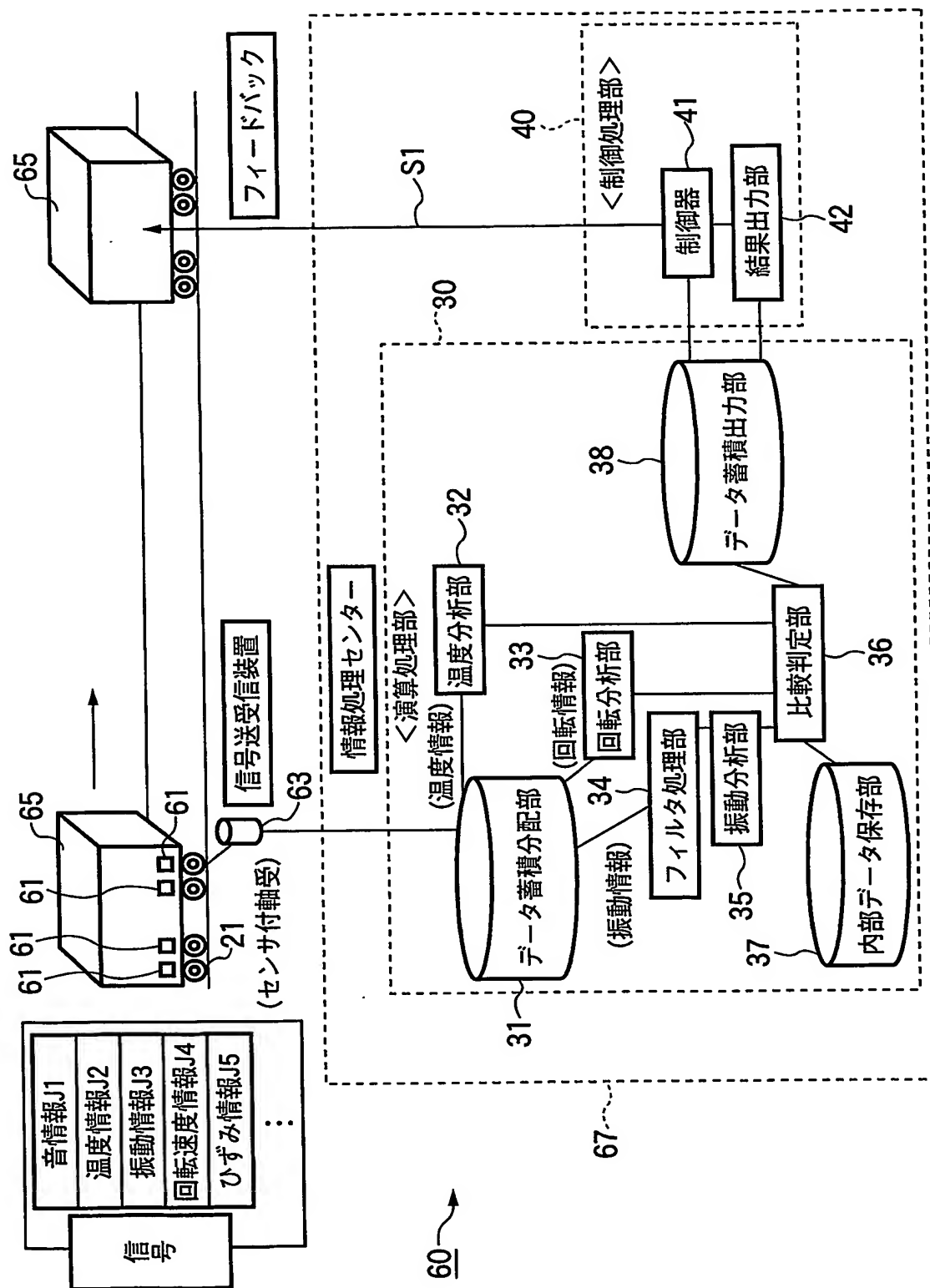


図29

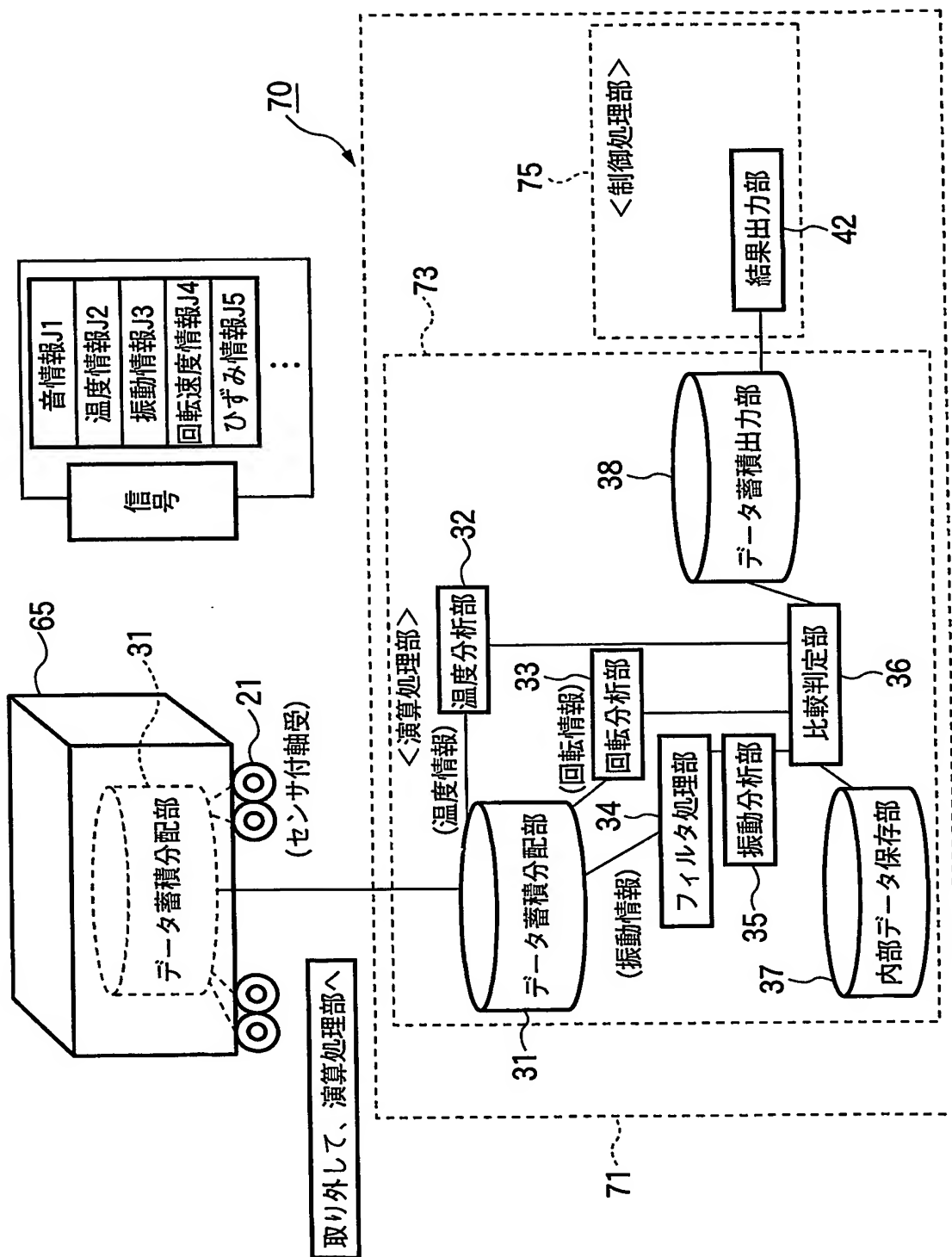


図30

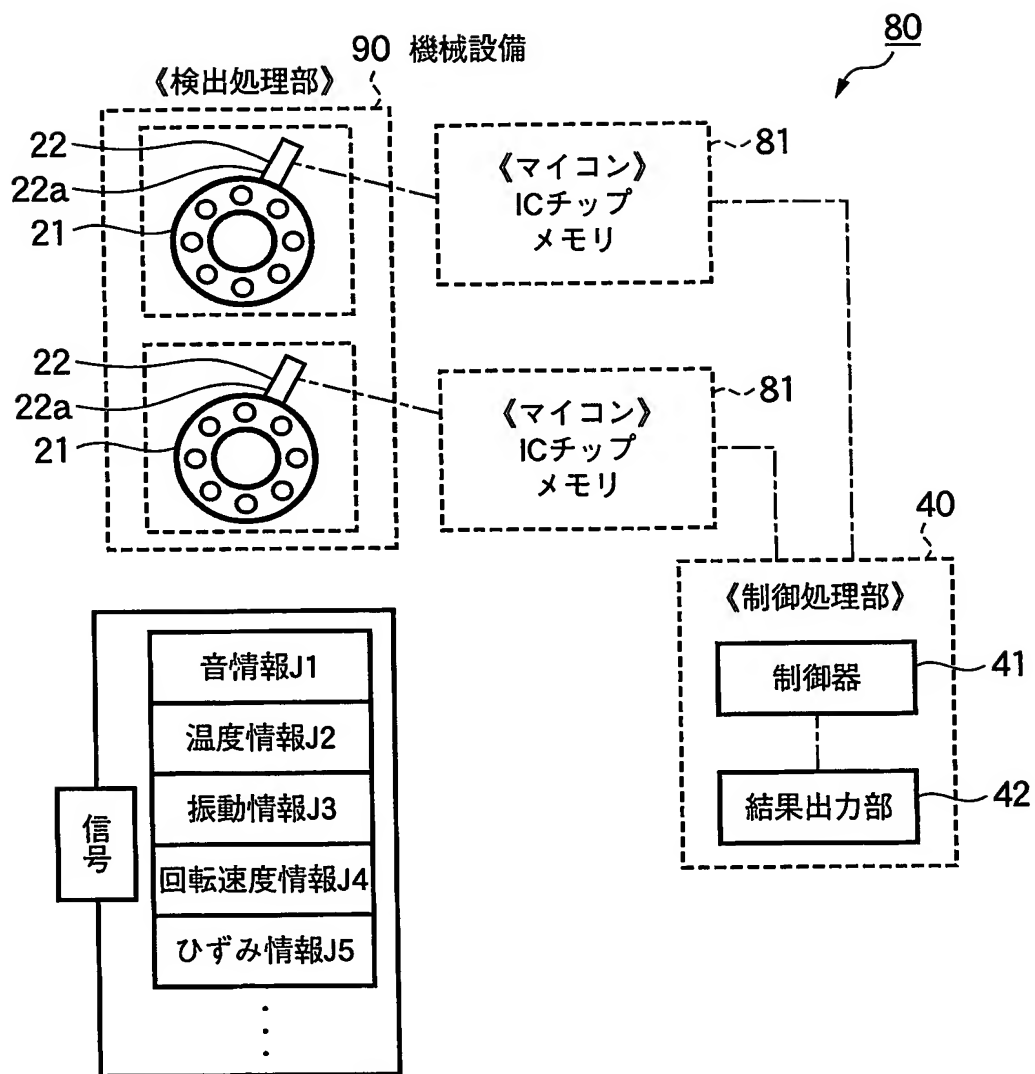


図31

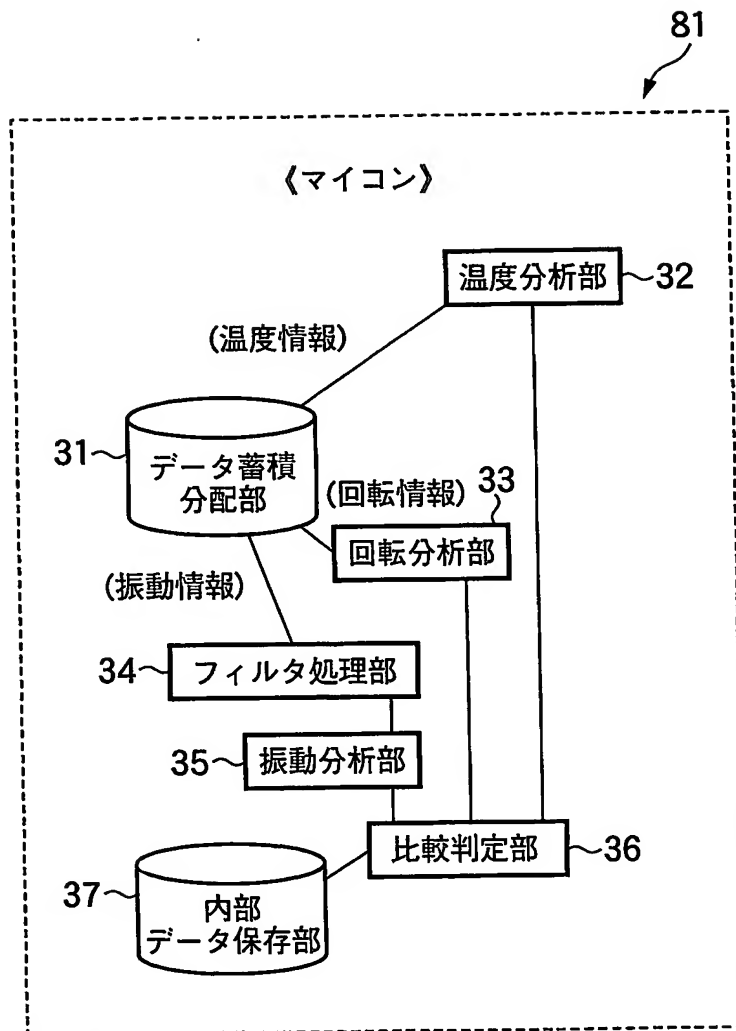




図32

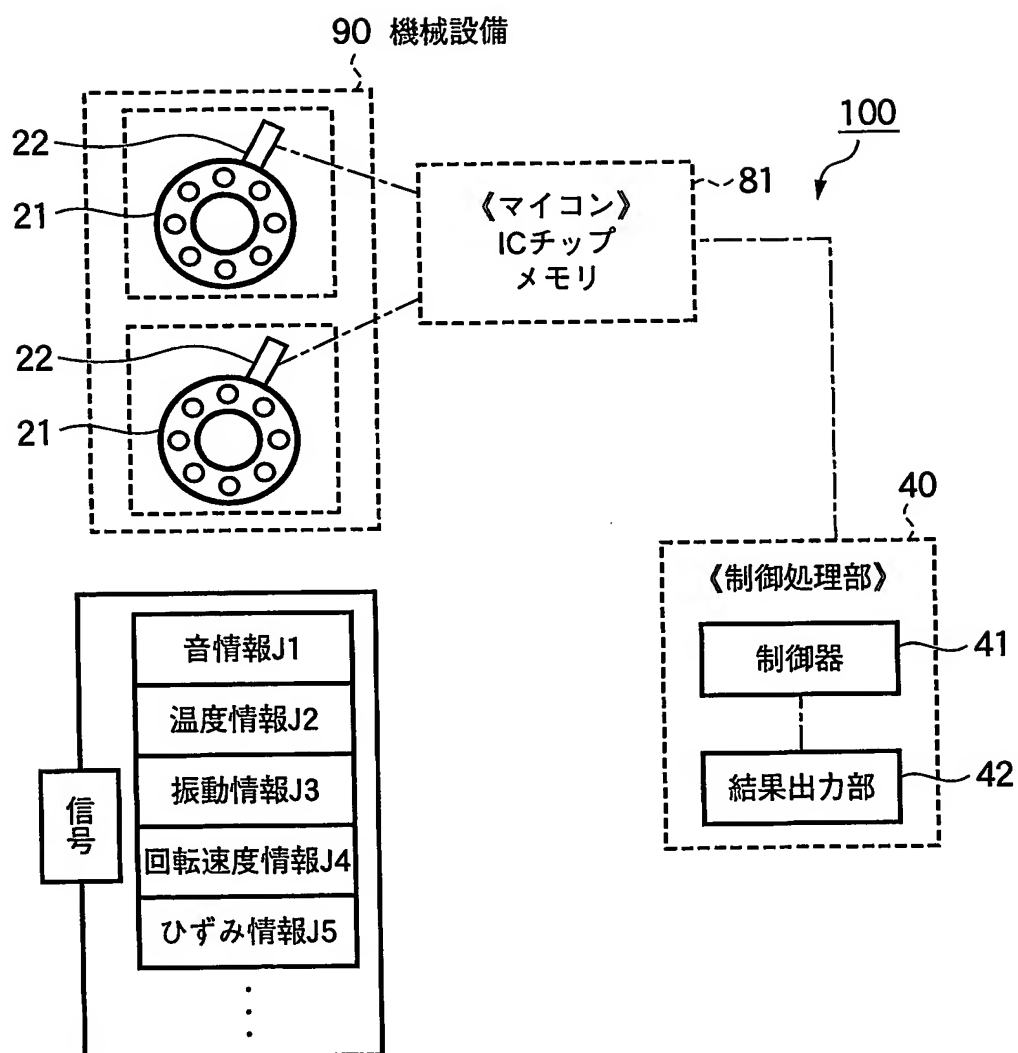
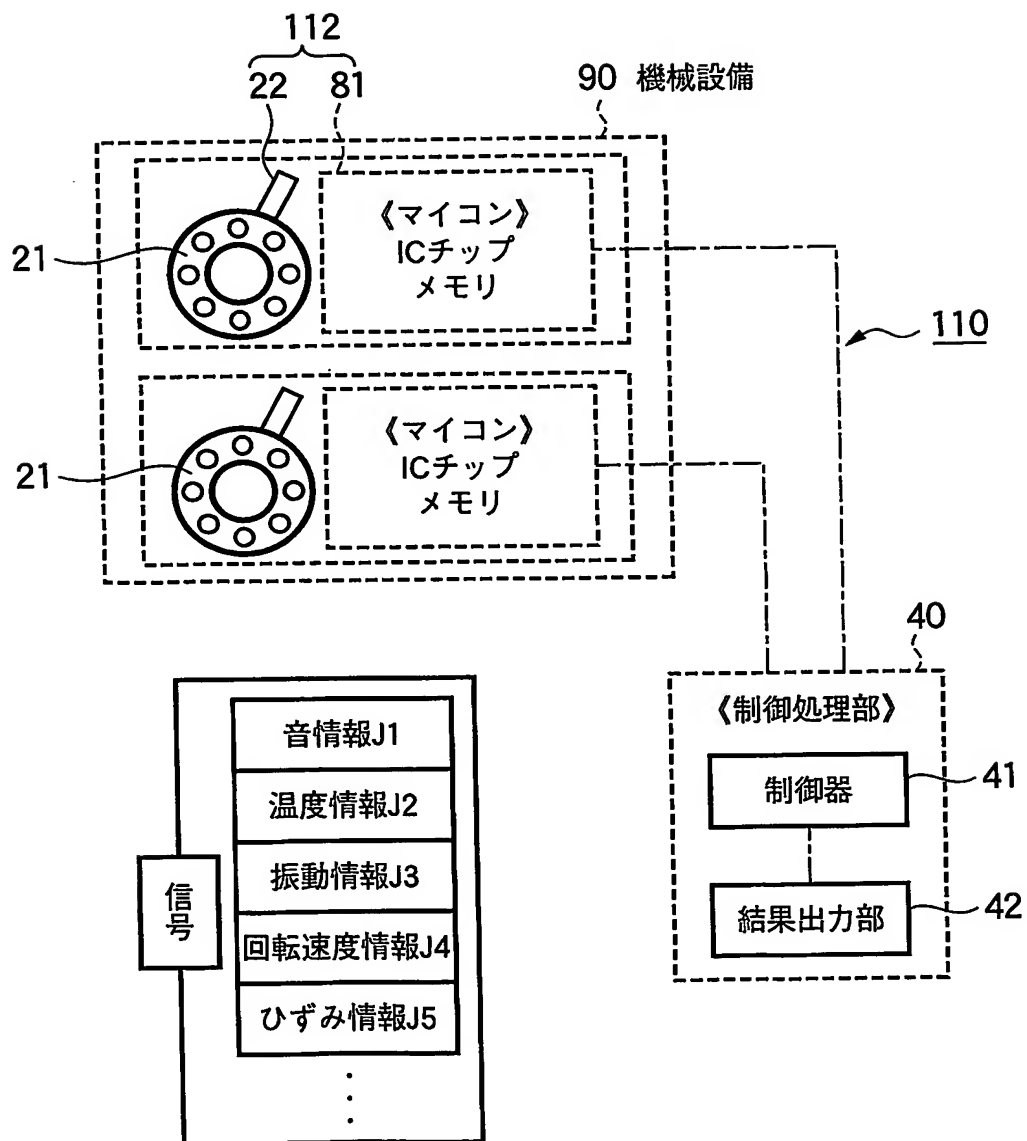


図33



34(b)

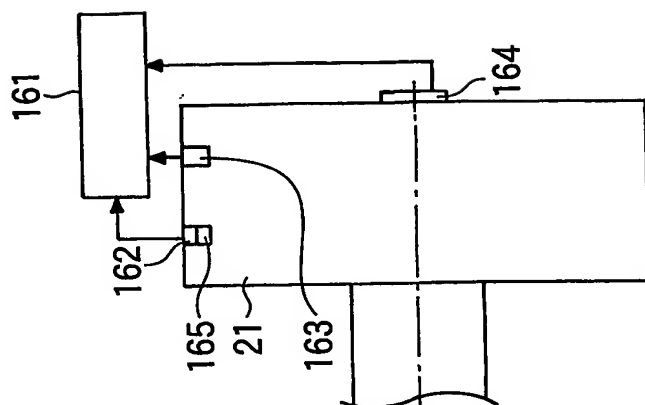


図34(a)

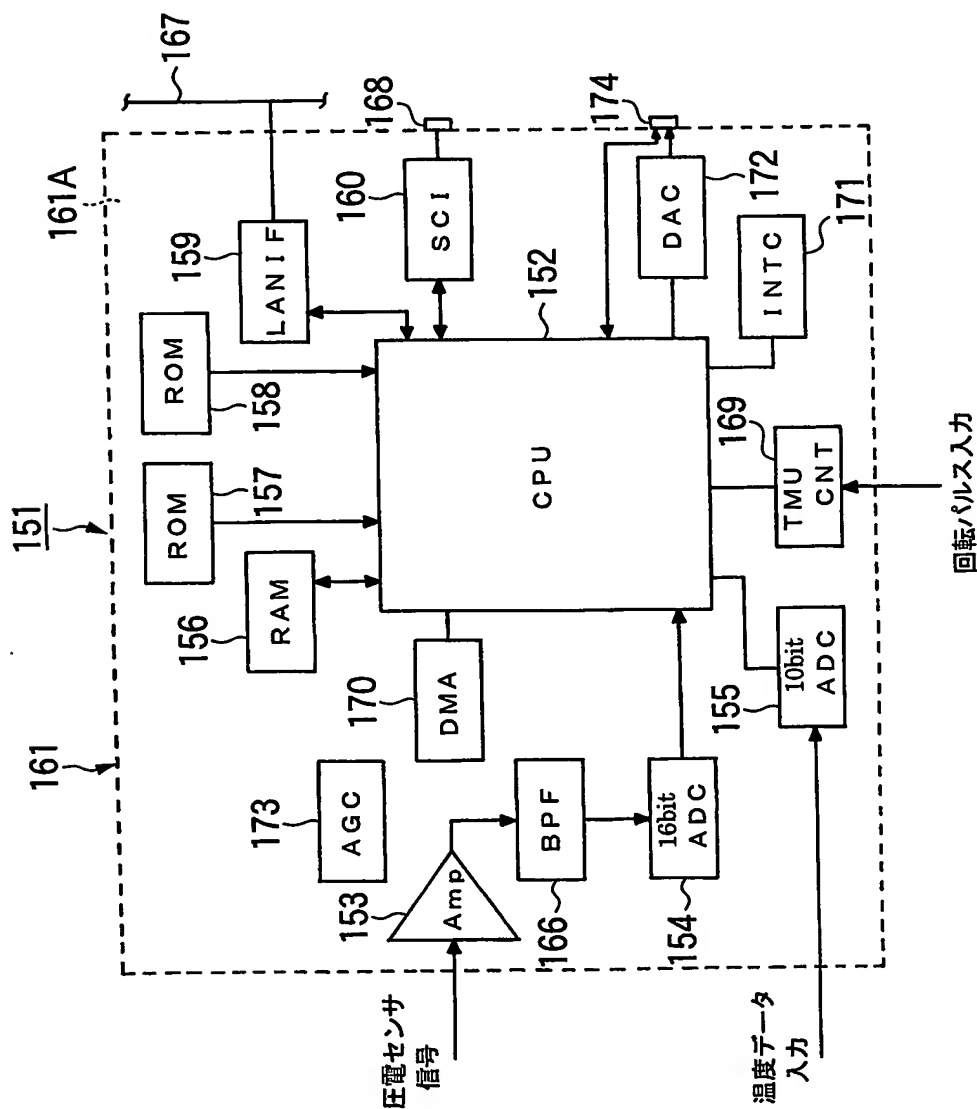


図35(b)

図35(a)

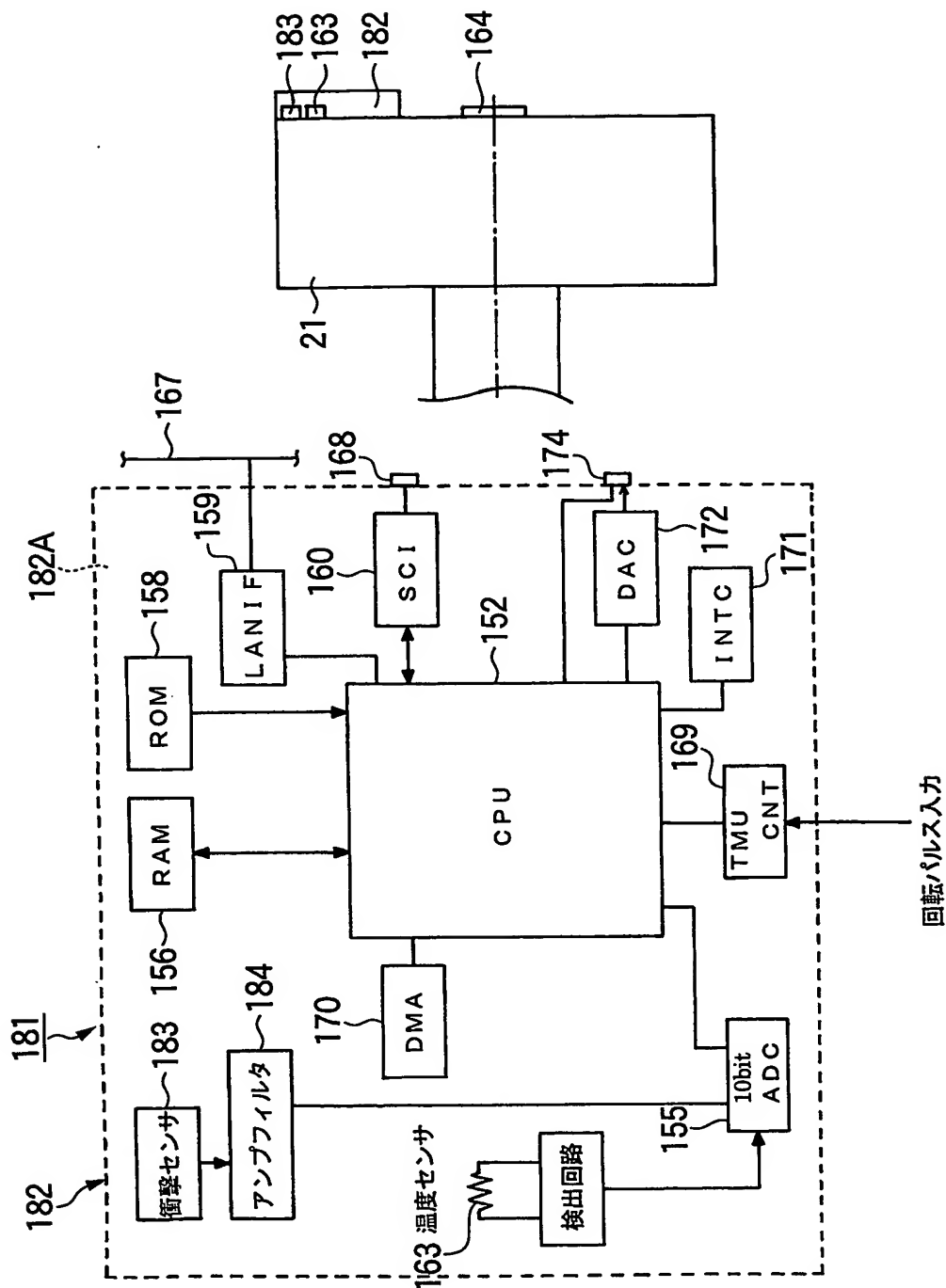


図36

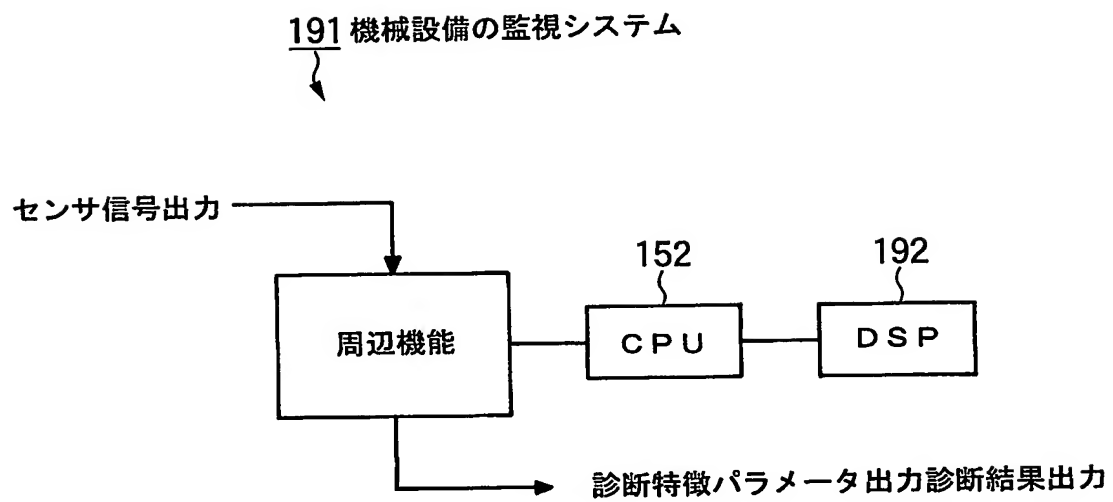


図37

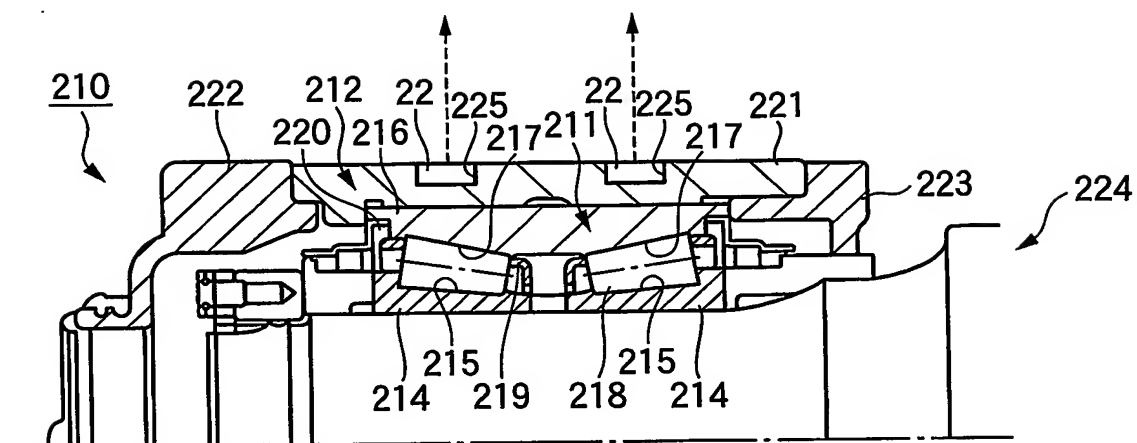


図38

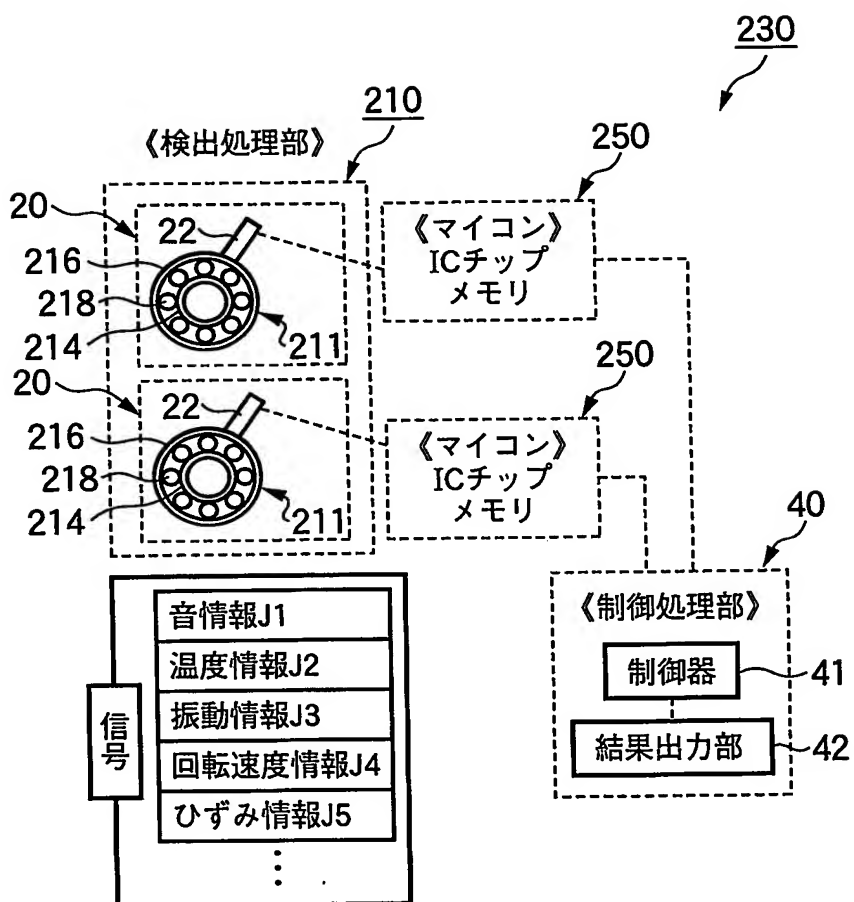


図39

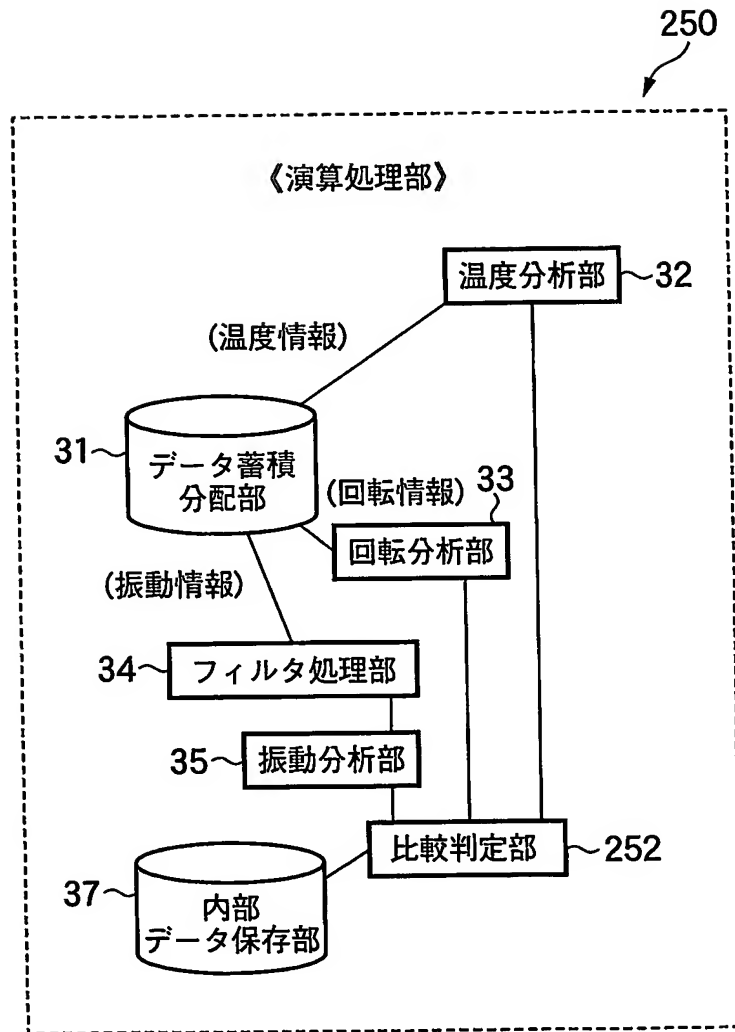




図40

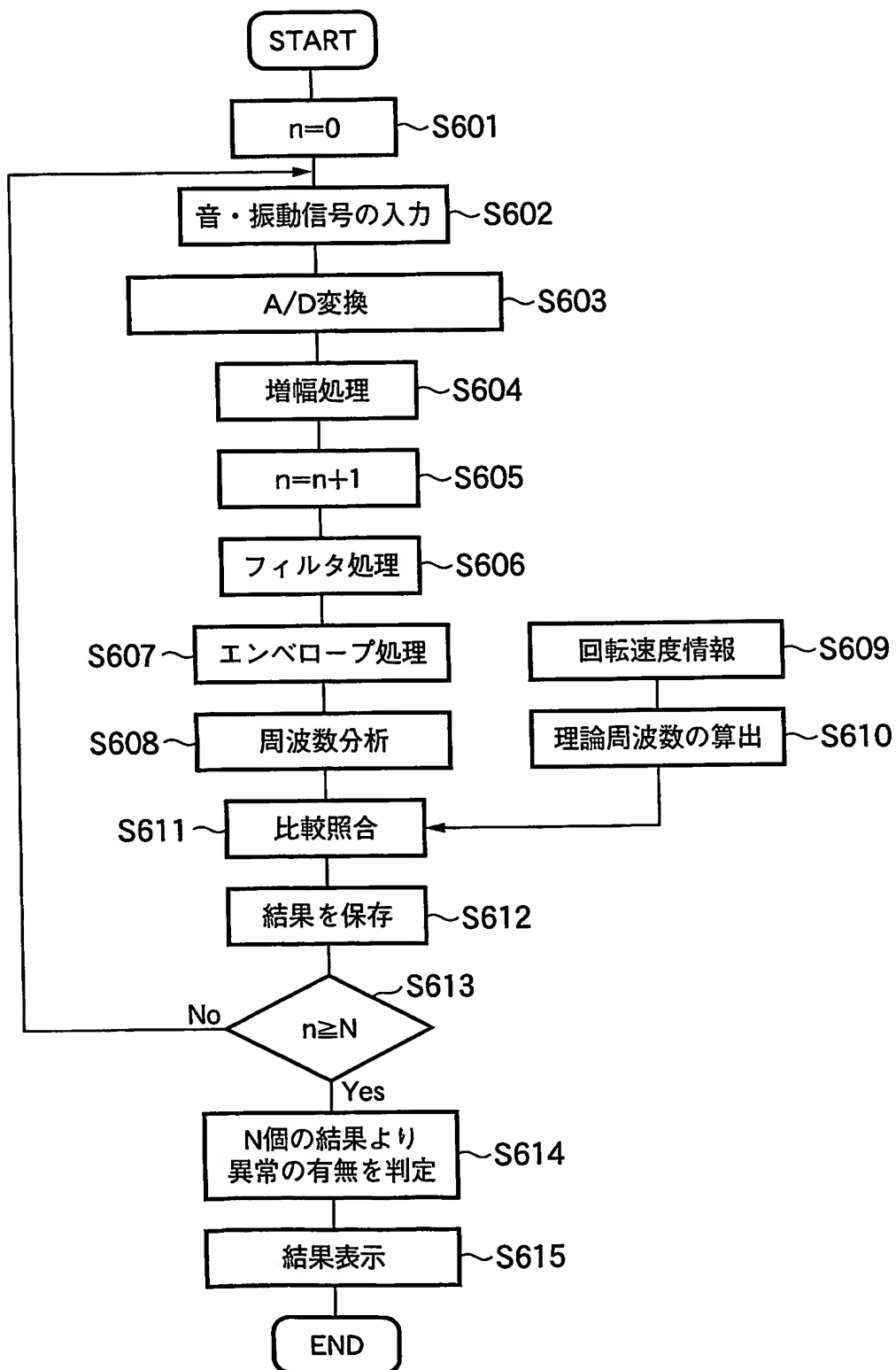


図41

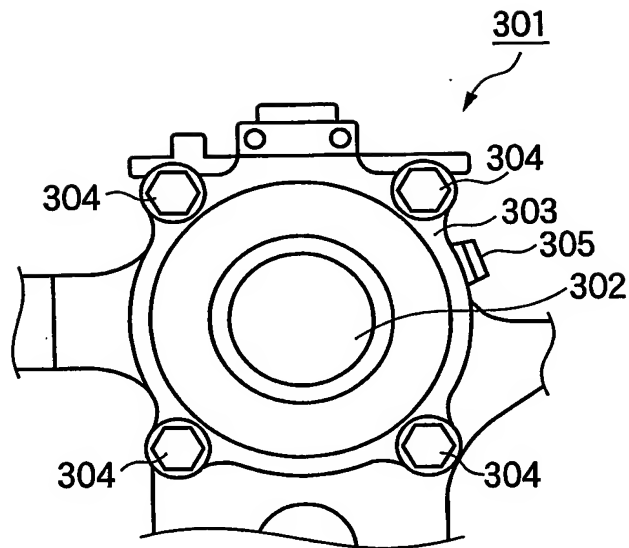


図42

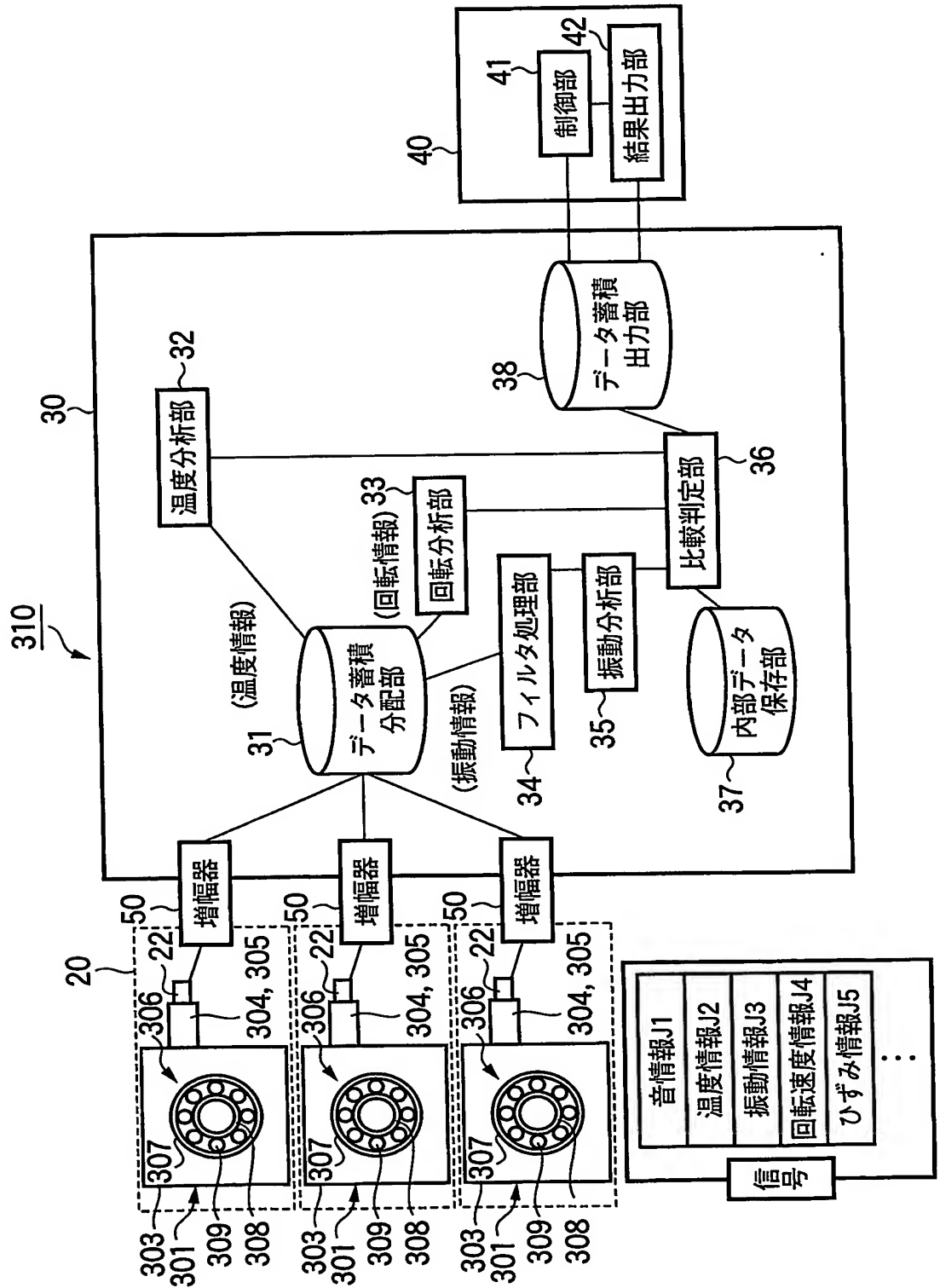


図43

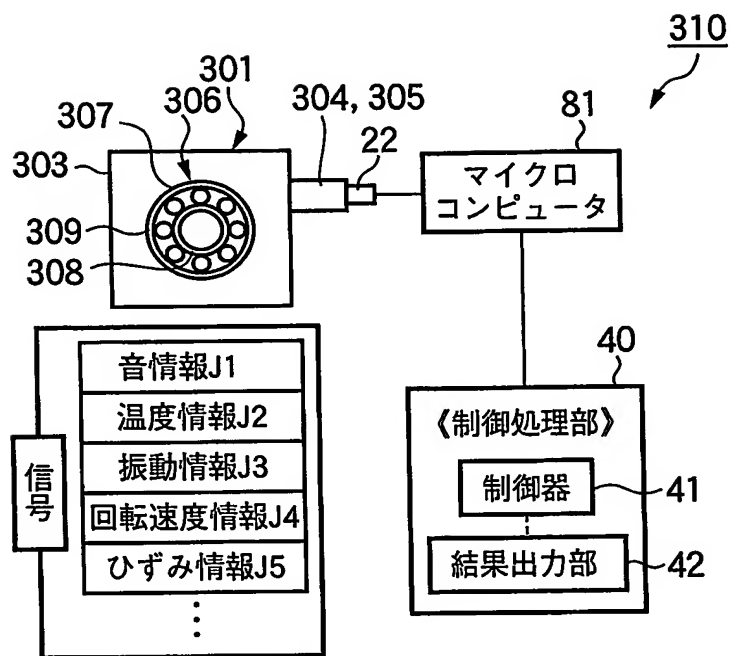


図44

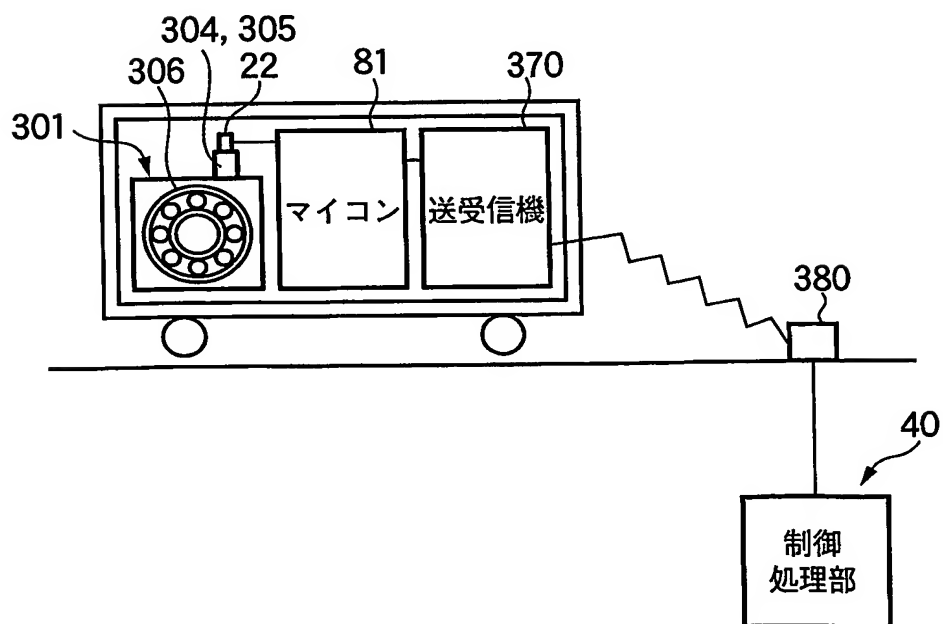


図45

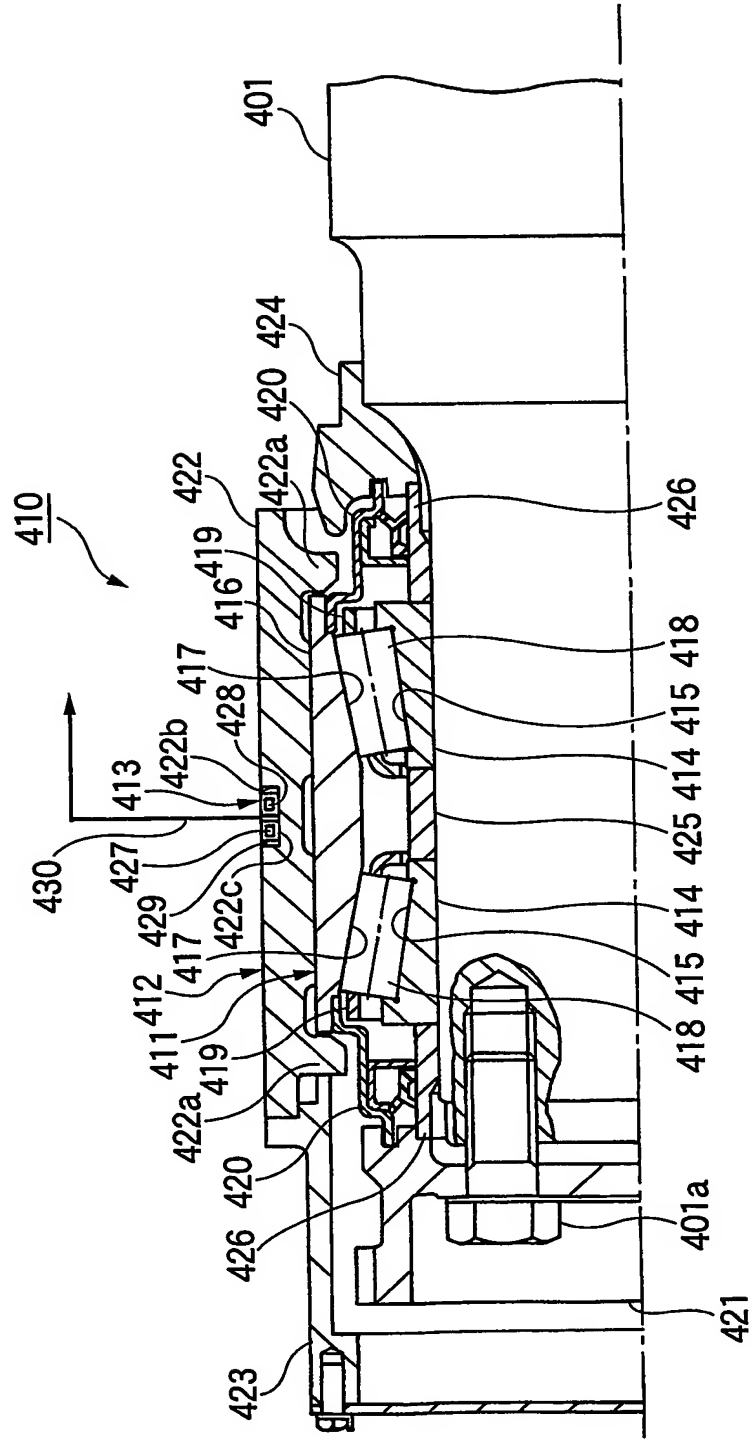


図46

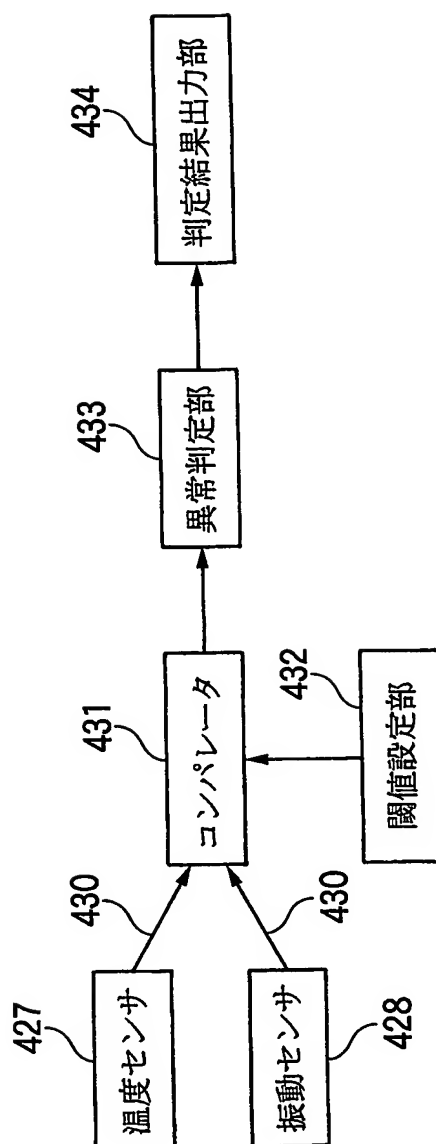


図47

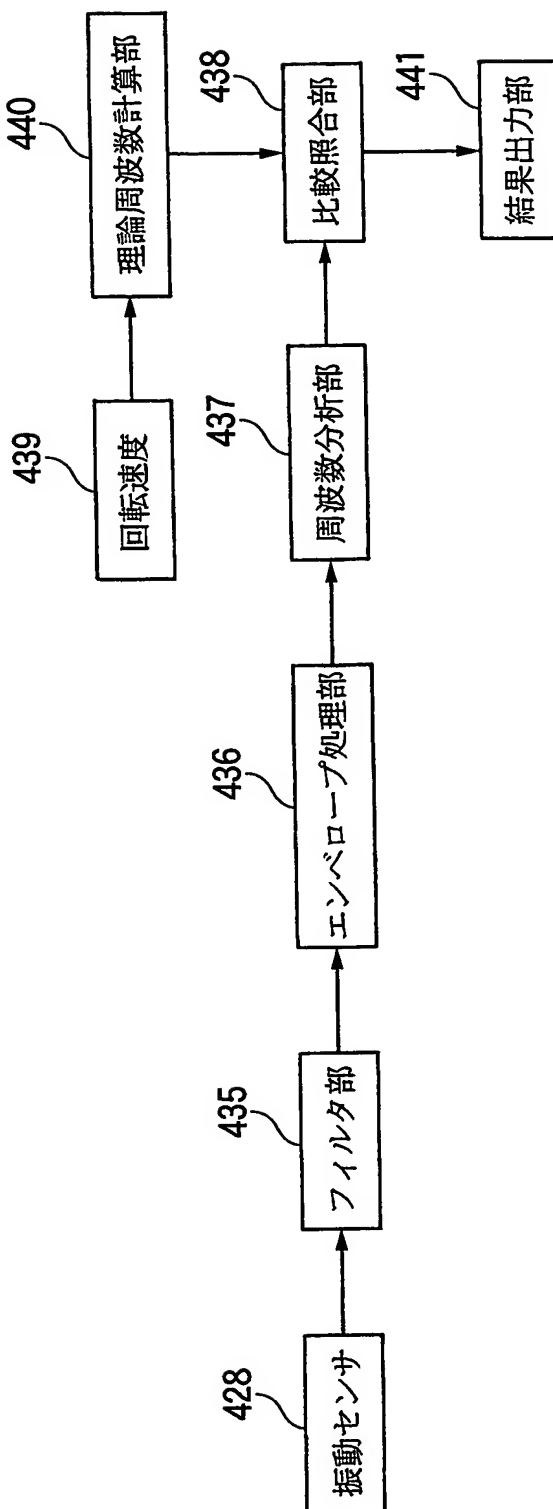


図48

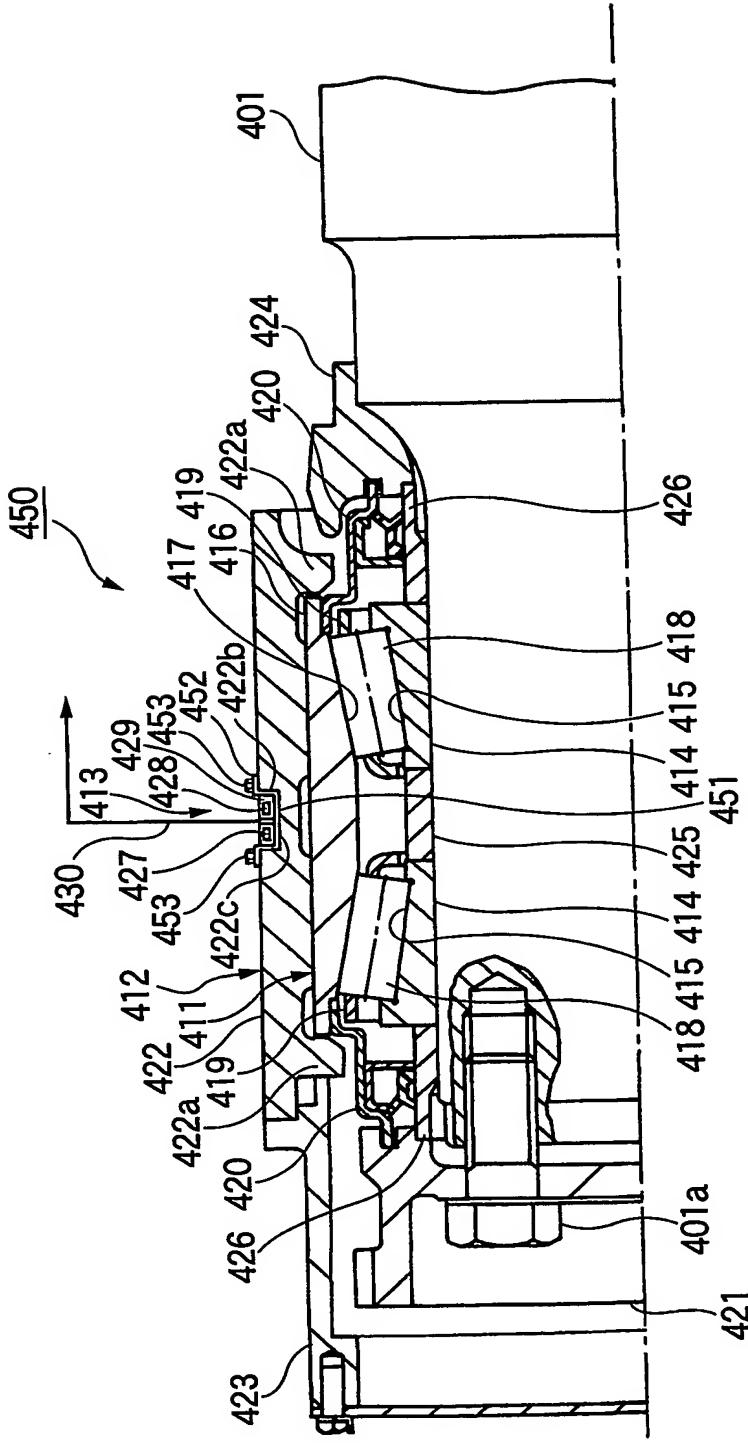




図49

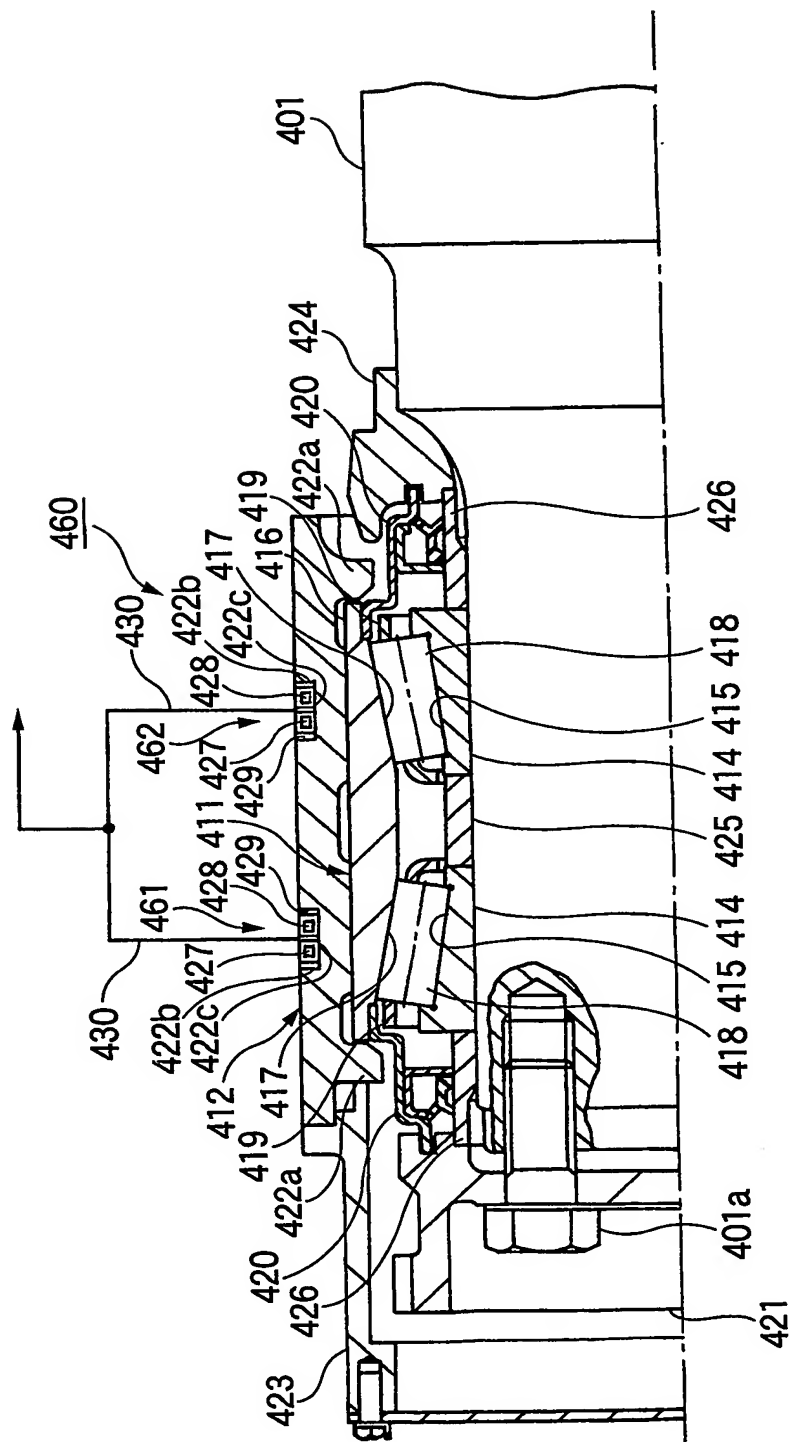


図50

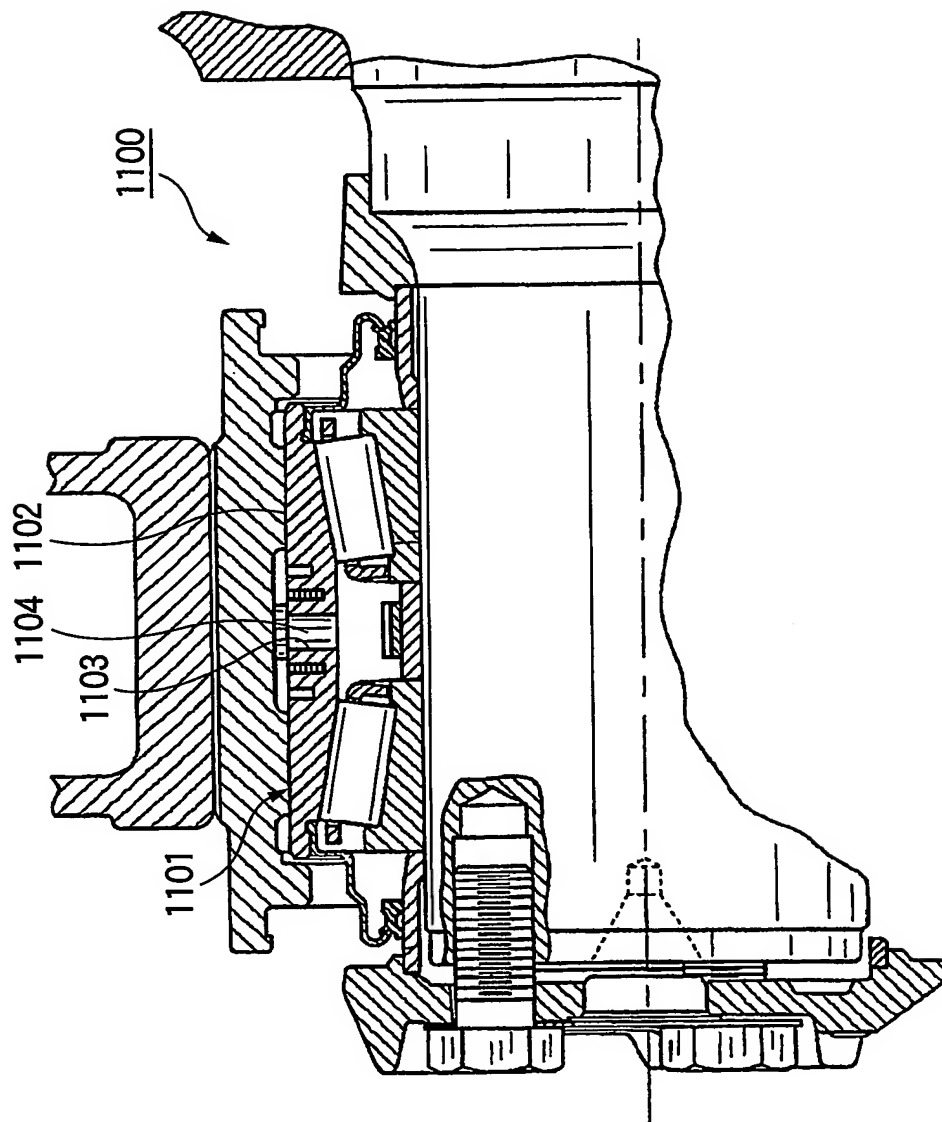


図51

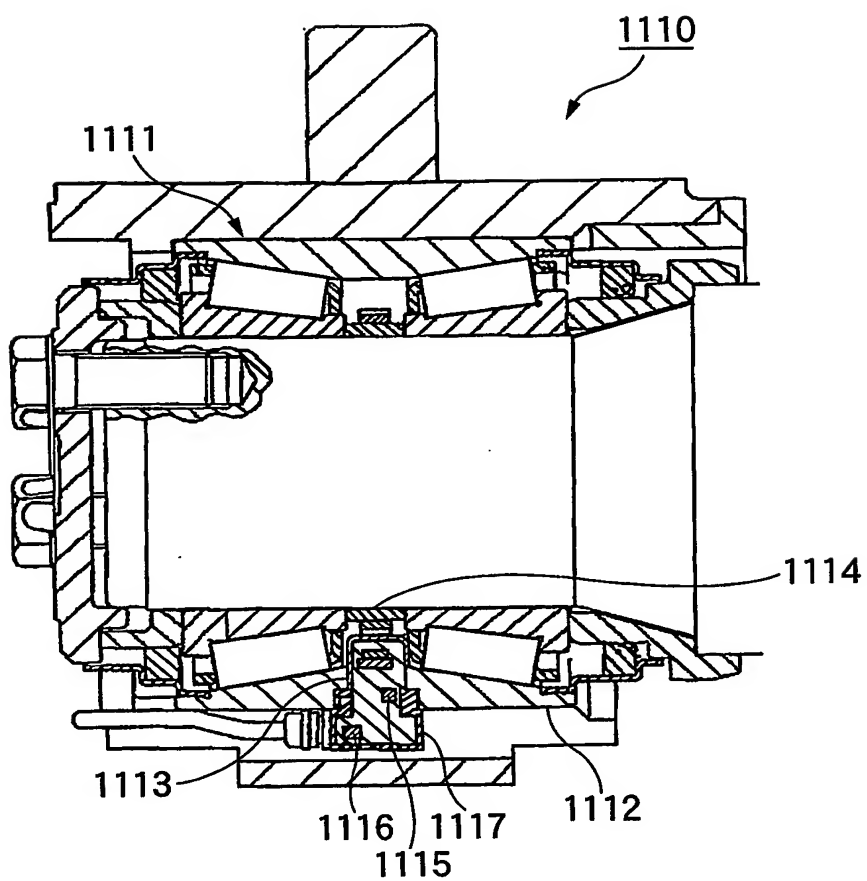


図52

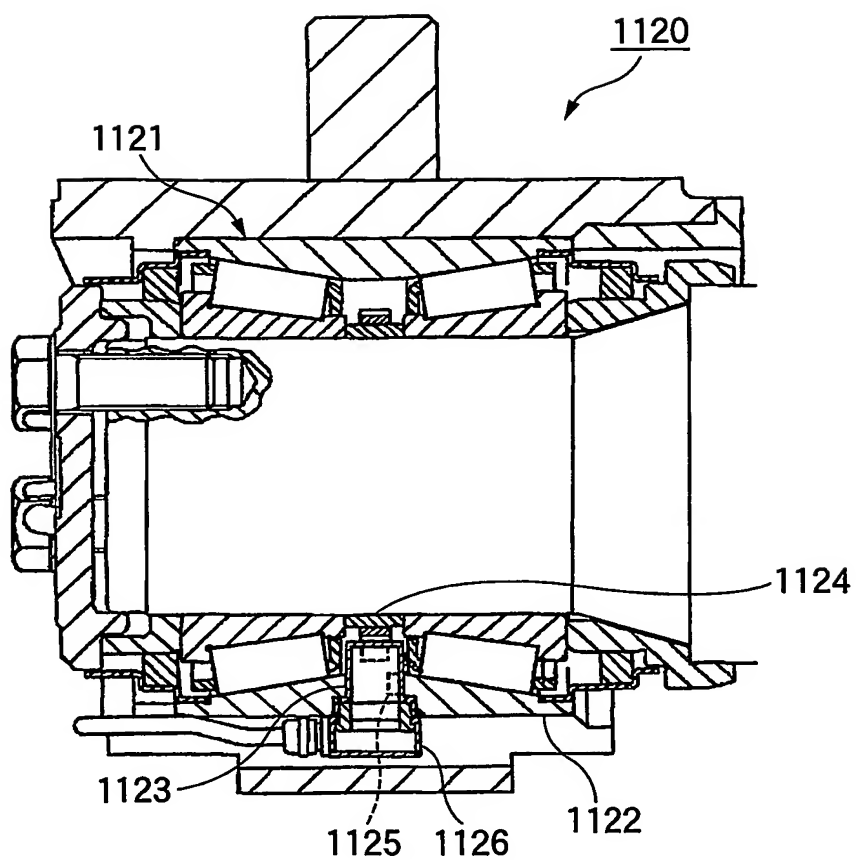


図53

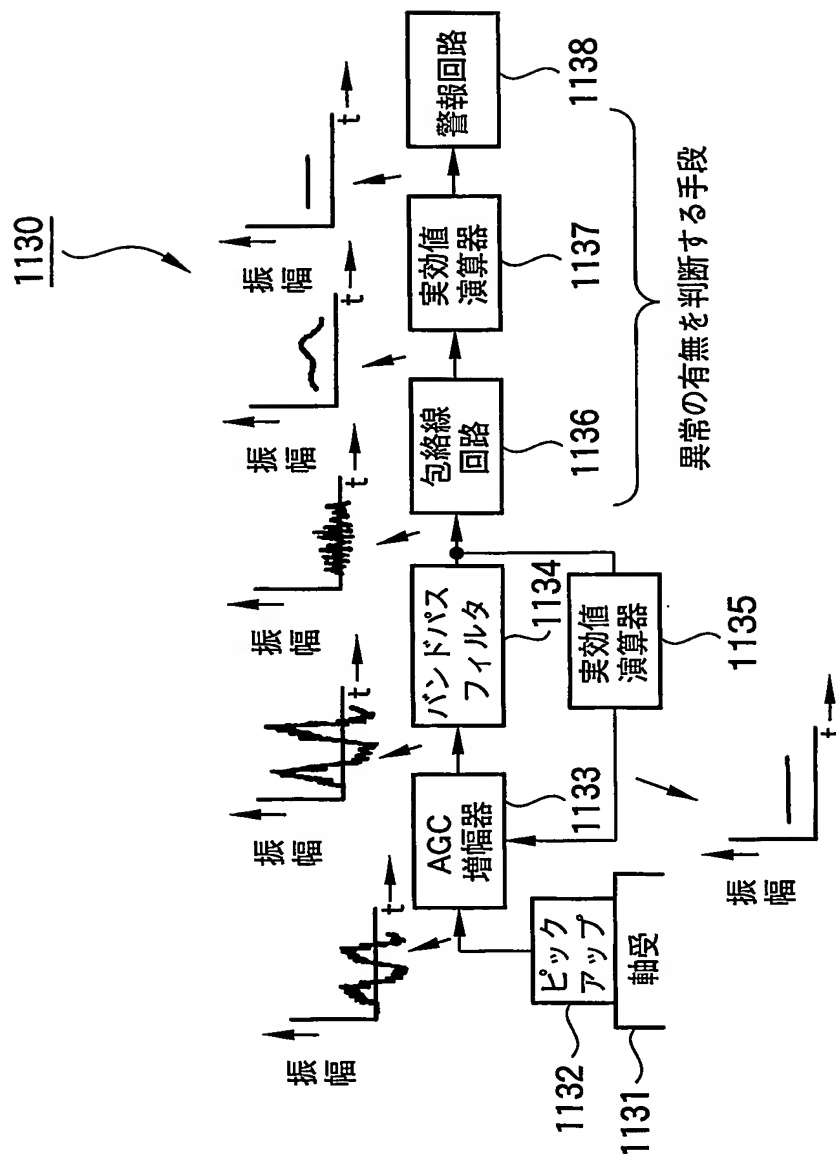


図54

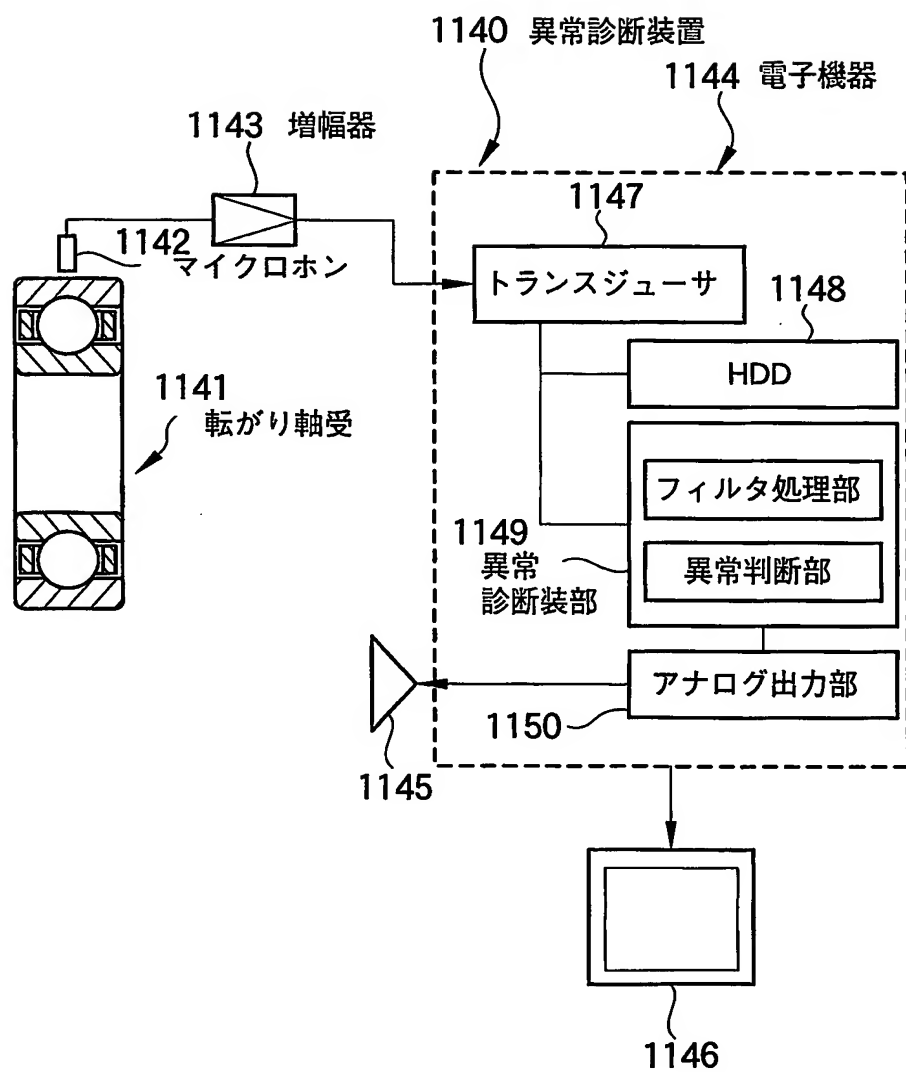
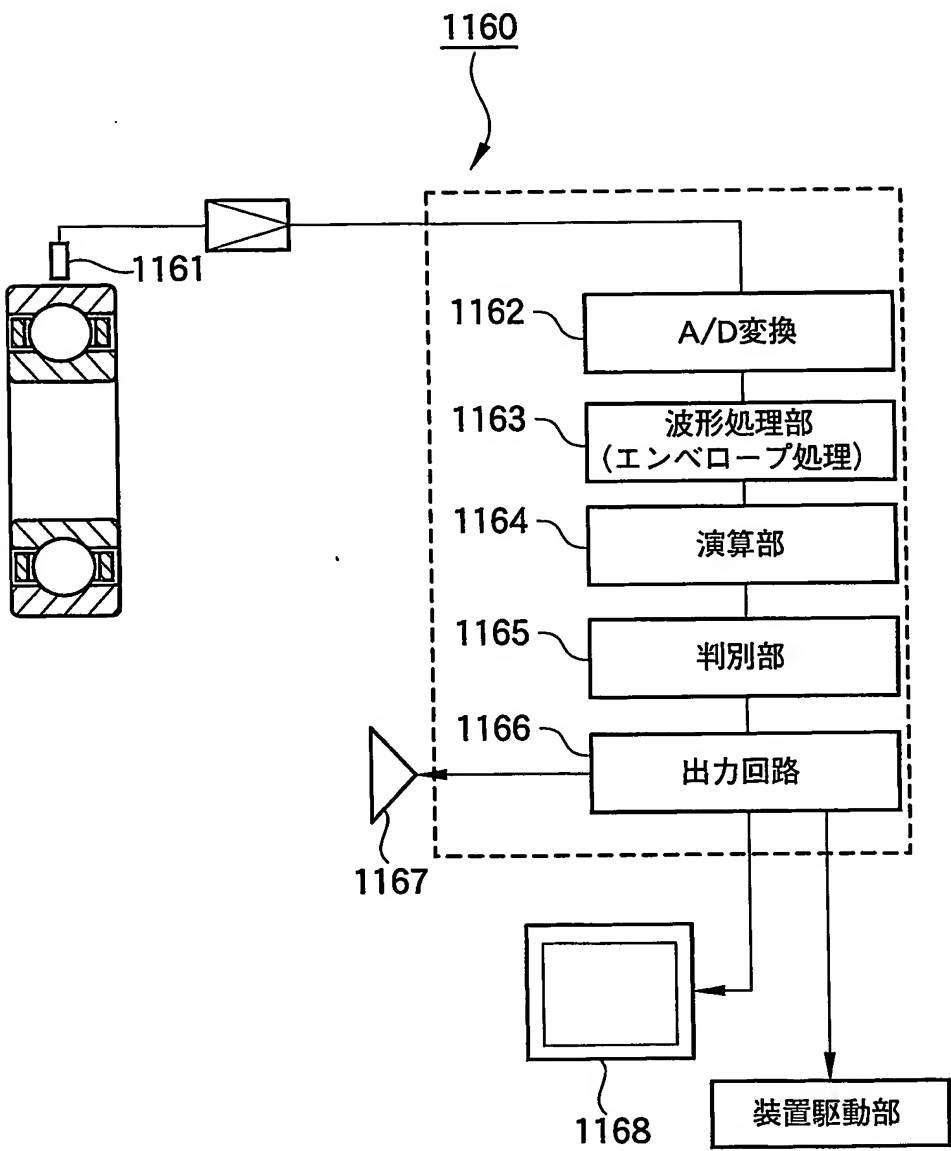


図55



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/11114

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G01M13/04, G01M19/00, G01M17/08, F16C41/00, B61F15/20,  
G01D21/00, G01B21/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G01M13/04, G01M19/00, G01M17/08, F16C41/00, B61F15/20,  
G01D21/00, G01B21/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2002-71519 A (NTN Corp.), 08 March, 2002 (08.03.02), Par. Nos. [0001], [0014], [0023] to [0070] & EP 1164550 A2 & US 2002-13635 A1	38-43 1-37, 44-60
Y	JP 2001-21453 A (NSK Ltd.), 26 January, 2001 (26.01.01), Par. Nos. [0008], [0012] to [0046]; all drawings (Family: none)	1-24, 46-48, 60
Y	JP 7-209143 A (Caterpillar Inc.), 11 August, 1995 (11.08.95), Par. Nos. [0002] to [0114]; all drawings & US 5566092 A1	1-23, 37, 49

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
10 December, 2003 (10.12.03)

Date of mailing of the international search report  
24 December, 2003 (24.12.03)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.



International application No.

PCT/JP03/11114

**C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 6-200929 A (AB SKF), 19 July, 1994 (19.07.94), Par. Nos. [0006], [0014], [0015], [0024]; Figs. 1 to 2 & EP 594550 A1	4-5, 29,31, 36
Y	WO 98/11356 A1 (THE TIMKEN CO.), 19 March, 1998 (19.03.98), Full text; all drawings & JP 2001-500597 A & US 6161962 A1	6,17,22, 26-35,44,49, 51-59
Y	JP 47-9446 A (General Electric Co.), 15 May, 1972 (15.05.72), Full text; all drawings (Family: none)	7,9,23
Y	JP 3-152436 A (Koyo Seiko Co., Ltd.), 28 June, 1991 (28.06.91), Full text; all drawings (Family: none)	8,45,53, 55-57
Y	JP 2-240536 A (Fuji Electric Co., Ltd.), 25 September, 1990 (25.09.90), Full text; all drawings (Family: none)	10-14
Y	JP 6-42983 A (Omron Corp.), 18 February, 1994 (18.02.94), Par. Nos. [0019] to [0024]; all drawings & EP 581218 A1 & US 5407730 A1	25,36
Y	JP 2000-133474 A (Asahi National Shomei Kabushiki Kaisha), 12 May, 2000 (12.05.00), Full text; all drawings (Family: none)	32

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/11114

## Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

## Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Claims 1-37 relate to an abnormality diagnosing device for rolling stock mechanical equipment.

Claims 38-48 relate to a method and a device for monitoring the status of mechanical equipment.

Claims 49-52 relate to an abnormality diagnosing device for a mechanical device.

Claims 53-60 relate to a bearing having an abnormality detecting means.

A scope within which the International Preliminary Examination Organization considers to fulfill the requirement of unity of invention involves the respective four groups of the above claims.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.  
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G01M13/04, G01M19/00, G01M17/08, F16C41/00  
B61F15/20, G01D21/00, G01B21/00

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G01M13/04, G01M19/00, G01M17/08, F16C41/00,  
B61F15/20, G01D21/00, G01B21/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
日本国公開実用新案公報 1971-2003年  
日本国登録実用新案公報 1994-2003年  
日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	JP 2002-71519 A (エヌティエヌ株式会社) 2002.03.08, 段落0001, 0014, 0023-0070, &EP 1164550 A2, &US 2002-13635 A1	38-43, 1-37, 44-60
Y	JP 2001-21453 A (日本精工株式会社) 2001.01.26, 段落0008, 0012-0046、全図 (ファミリーなし)	1-24, 46-48 60

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

- 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

- 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

10.12.03

国際調査報告の発送日

24.12.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

小山 茂 印

2J

7519

電話番号 03-3581-1101 内線 3251

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 7-209143, A (キャタピラー インコーポレイテッド) 1995. 08. 11, 段落0002-0114、全図 &US 5566092 A1,	1-23, 37, 49
Y	J P 6-200929 A (アクティエボラーク SKF) 1994. 07. 19, 段落0006, 0014, 0015, 0024第1-2図, &EP 594550 A1	4-5 29, 31 36,
Y	WO 98/11356 A1 (THE TIMKEN COMPANY) 1998. 03. 19, 全文、全図, &J P 2001-500597 A, &US 6161962 A1	6, 17, 22 26-35, 44, 49, 51-59
Y	J P 47-9446 A (ゼネラル・エレクトリック・カンパニー) 1972. 05. 15, 全文、全図 (ファミリーなし)	7, 9, 23
Y	J P 3-152436 A (光洋精工株式会社) 1991. 06. 28, 全文、全図 (ファミリーなし)	8, 45, 53 55-57
Y	J P 2-240536 A (富士電機株式会社) 1990. 09. 25, 全文、全図 (ファミリーなし)	10-14
Y	J P 6-42983 A (オムロン株式会社) 1994. 02. 18, 段落0019-0024、全図 &EP 581218 A1, &US 5407730 A1	25, 36
Y	J P 2000-133474 A (朝日ナショナル照明株式会社) 2000. 05. 12, 全文、全図, (ファミリーなし)	32

## 第Ⅰ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT 17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。  
つまり、
2. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第Ⅱ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

請求の範囲 1 - 37 は、鉄道車両機械設備の異常診断装置に関するものである。  
請求の範囲 38 - 48 は、機械設備の状態監視方法及び装置に関するものである。  
請求の範囲 49 - 52 は、機械装置の異常診断装置に関するものである。  
請求の範囲 53 - 60 は、異常検出手段を有する軸受装置に関するものである。

国際予備審査機関が単一性の要件を満たすと考える範囲は、上記4つの請求の範囲の集合各々である。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。  
☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。